

Realizzazione del processo, progetto e prototipo

Green Responsive System

[Documento tecnico-scientifico maggio 2023]

Responsabile Scientifico

Prof.ssa Arch. Consuelo Nava

cnava@unirc.it

Responsabilità tecnico-operativa

Arch. Giuseppe Mangano

giuseppe.mangano@unirc.it

Arch. Domenico Lucanto

domenico.lucanto@unirc.it

1. INTRODUZIONE

1.1 Descrizione dell'intervento

L'intervento si inserisce nelle attività di Ricerca e Sviluppo condotte presso la REDEL nell'ambito della Convenzione di Ricerca e Terza Missione stipulata con ABITAlab dArTe UniRC, sui temi delle tecnologie emergenti e della decarbonizzazione con la progettazione e la realizzazione di un dimostratore ibrido (*fotovoltaico + greening*), denominato **Green Responsive System**, per l'integrazione di moduli prototipi al rinverdimento verticale di una parte di parete presso la sede della REDEL sita a Campo Calabro in via Patera, 12, 89052 Campo Calabro RC.

L'oggetto dell'intervento prevede anche l'inserimento di un pannello fotovoltaico a servizio del funzionamento e dei processi di gestione del sistema responsivo, perseguendo *un'innovazione di processo e di progetto*.

Le attività, di seguito dettagliate e descritte, sono oggetto di ricerca presso il laboratorio di ricerca ABITAlab dArTe UNIRC, di cui è Responsabile scientifica prof.ssa Consuelo Nava, con la responsabilità tecnica-operativa degli architetti Giuseppe Mangano e Domenico Lucanto e la collaborazione della laureanda e stagista Eliana Catalano. La realizzazione del prototipo e il testing della fase operativa sono da svolgersi presso la sede REDEL.

1.2 Metodo e Design dal Progetto al prototipo

Per la realizzazione del dimostratore Green Responsive System presso REDEL, così come per la fase di testing e di monitoraggio del dispositivo in ambiente controllato, si sceglie di utilizzare la metodologia del *Design Avanzato* e del *Design Rigenerativo*.

Gli aspetti di innovazione legati alla ricerca e allo sviluppo sul dispositivo proposto sono indagati mediante lo studio dei *processi circolari* di sperimentazione e di prototipazione, che provengono dall'evoluzione delle esperienze di ricerca nel settore e che trasferiscono nel progetto "le performance"¹ degli oggetti prototipati, quali elementi *bioricettivi*² per la *mitigazione e l'adattamento degli impatti derivanti dai cambiamenti climatici*, integrando agli stessi lo sviluppo "in positivo"³ delle prestazioni energetiche attraverso l'utilizzo delle componenti fotovoltaiche calate nel sistema costruito, integrate con i dispositivi per la crescita vegetale in verticale.

L'utilizzo delle metodologie di *Advanced Circular Design* nei processi di sperimentazione necessita di tecnologie digitali e di additive manufacturing dei dispositivi applicati, utili a confrontare la risposta dei dispositivi sugli scenari climatici di riferimento.

¹ Il concetto di "performance" degli oggetti prototipati suggerisce che la ricerca si concentra sull'ottenimento di un risultato misurabile e tangibile. In questo caso, il risultato misurabile è la capacità del dispositivo di mitigare e adattarsi agli impatti dei cambiamenti climatici.

² "I dispositivi bioricettivi sono elementi progettuali che sfruttano le interazioni tra la natura e l'architettura per ottenere effetti benefici sull'ambiente costruito e sui suoi occupanti. Questi dispositivi utilizzano sensori biologici, come le piante, per monitorare e regolare i sistemi ambientali all'interno degli edifici e nelle aree urbane circostanti, migliorando la qualità dell'aria e dell'acqua, riducendo le emissioni di gas serra e migliorando il comfort ambientale" (S. Savi, S. Skelton, M. Sohn, "Designing Bioricettive Façades: A Review on Trends and Perspectives," in *Frontiers of Architectural Research*, vol. 7, no. 4, pp. 525-538, 2018).

³ Il concetto di "in positivo" si riferisce all'approccio innovativo di utilizzare le componenti fotovoltaiche per generare energia in modo autonomo e sostenibile, mentre allo stesso tempo favorire la crescita vegetale in verticale. Questo approccio cerca di creare un impatto positivo sull'ambiente attraverso la riduzione delle emissioni di CO₂ e la promozione di pratiche di coltivazione sostenibili. Inoltre, l'approccio "in positivo" incorpora il concetto di design biofilico, che cerca di simulare e riprendere i sistemi naturali attraverso la progettazione degli spazi urbani. L'integrazione dei dispositivi per la crescita vegetale in verticale rappresenta un esempio di design biofilico che mira a ridurre l'impatto ambientale degli edifici urbani e ad aumentare la qualità dell'aria. In definitiva, l'approccio "in positivo" cerca di creare un impatto positivo sull'ambiente attraverso l'integrazione di tecnologie sostenibili e pratiche di design biofilico, promuovendo così la sostenibilità urbana e la riduzione dell'impatto ambientale.

1.3 Applicazione della metodologia TRL - Per la validazione del processo di sperimentazione

Per combattere la crescente minaccia del riscaldamento globale, è essenziale sviluppare e implementare sistemi verdi o che svolgono "funzioni di greening" che possano contribuire alla neutralità del carbonio. Un approccio per raggiungere questo obiettivo è quello di combinare elementi architettonici per l'inverdimento verticale con elementi per la produzione di energia fotovoltaica e altri componenti derivati da attività di additive manufacturing.

Lo sviluppo di tali sistemi richiede una metodologia rigorosa per garantire che le tecnologie utilizzate siano efficaci ed efficienti. La metodologia TRL (Technology Readiness Level) fornisce un quadro per valutare la maturità e la prontezza delle tecnologie per la sperimentazione e la produzione industriale.

La relazione evidenzia come la metodologia TRL è collegata alle attività per la creazione del dimostratore GRS – Green Responsive System. Lo scopo del sistema diventa quindi quello di dimostrare la fattibilità e l'efficacia della combinazione delle tecnologie ibride e per il rinverdimento verticale e la produzione di energia fotovoltaica come contributo all'abbattimento delle emissioni di CO2.

Il dimostratore si baserà su un sistema modulare che potrà, grazie alla versatilità programmata per gli sviluppi futuri, essere adattato a diversi tipi di facciate per edifici alte prestazione (*Net zero*). La metodologia TRL sarà utilizzata per valutare la coerenza delle tecnologie utilizzate nel prototipo, dal concetto iniziale alla dimostrazione finale, e validare infine la maturità tecnologica del dimostratore/prototipo oggetto della sperimentazione (cfr. Fig.1).

Manufacturing Readiness Level (MRL)		
Phase	MRL	State of Development
Phase 3: Production Implementation	9	Full production process qualified for full range of parts and full metrics achieved
	8	Full production process qualified for full range of parts
	7	Capability and rate confirmed
Phase 2: Pre production	6	Process optimised for production rate on production equipment
	5	Basic capability demonstrated
Phase 1: Technology assessment and proving	4	Production validated in lab environment
	3	Experimental proof of concept completed
	2	Application and validity of concept validated or demonstrated
	1	Concept proposed with scientific validation

Fig. 1 - Manufacturing Readiness Level. Fonte: USA DOD, 2005

Utilizzando la metodologia TRL, si garantisce che le tecnologie utilizzate nel prototipo siano affidabili, efficaci ed efficienti. Questa relazione delinea i livelli TRL per ciascuna tecnologia utilizzata nel dimostratore, scritti su ciascuna attività, dal "Technology assessment and proving" (TRL 1-4) che si chiude con la fase di "Pre-Production" con la sperimentazione sui componenti in "ambiente di laboratorio" (TRL 5-6) e con realizzazione del prototipo implementabile "Production Implementation" (TRL-7) e dimostrerà come la metodologia TRL può essere utilizzata per guidare lo sviluppo del dimostratore GRS.

Per quanto riguarda il processo di sviluppo sperimentale di ABITAlab nel campo della Progettazione Tecnologica dell'Architettura, ci si serve delle attività di sperimentazione per orientare il sistema progettato verso l'innovazione di tipo "design driven"⁴, che diventa fondamentale per lo sviluppo di componenti e sistemi costruttivi sostenibili e resilienti, in grado di mitigare le azioni e adattarsi agli impatti dei cambiamenti climatici.

Le attività di ricerca e lo sviluppo sperimentale qui descritte giocano un ruolo fondamentale in questo processo, poiché consentono di creare nuove soluzioni in grado di migliorare le prestazioni dei componenti e il loro impatto sull'ambiente.

Infatti, i processi circolari di sperimentazione e prototipazione sono componenti essenziali della R&S nel settore della tecnologia dell'architettura. Questi processi comportano cicli iterativi di testing e perfezionamento, in cui le prestazioni dei prototipi vengono valutate e migliorate sulla base dei risultati degli esperimenti. La conoscenza acquisita da questi processi viene poi trasferita alla progettazione di nuovi oggetti, portando al miglioramento continuo e all'innovazione.

Gli elementi bioricettivi sono un'area chiave della ricerca nel settore della tecnologia dell'architettura, in quanto possono aiutare a mitigare l'impatto dei cambiamenti climatici sugli edifici e sui loro contesti fisici. Essi sono oggetti che favoriscono la crescita della vegetazione e la colonizzazione di microrganismi, potenziando la naturale capacità dell'ambiente costruito di assorbire anidride carbonica e sostanze inquinanti. Possono anche aiutare a regolare i livelli di temperatura e umidità, riducendo la necessità di sistemi di riscaldamento e raffreddamento ad alta intensità energetica.

I componenti fotovoltaici integrati come sistemi di stoccaggio di CO2, rappresentano un'altra area di innovazione. Questi componenti possono essere integrati nel sistema costruito per generare energia rinnovabile, riducendo l'impronta di carbonio degli edifici e la loro dipendenza dai combustibili fossili. Abbassando i componenti fotovoltaici nel sistema costruito, possono essere meglio integrati nel design, riducendo il loro impatto visivo e migliorando le loro prestazioni.

I dispositivi per il vertical greening⁵ si aggiungono al sistema come soluzione innovativa in grado di migliorare le prestazioni degli elementi bioricettivi. Questi dispositivi consentono la coltivazione di piante in strutture verticali, aumentando la quantità di vegetazione che può essere incorporata nell'ambiente costruito. Ciò può avere numerosi vantaggi, tra cui una migliore qualità dell'aria, un aumento della biodiversità e un migliore isolamento termico.

Processi circolari di sperimentazione e prototipazione, elementi bioricettivi, componenti fotovoltaici e dispositivi per il vertical greening delle piante sono solo alcuni esempi delle soluzioni innovative che si stanno sviluppando per mitigare e adattarsi agli impatti dei cambiamenti climatici.

Il rapporto descrive l'applicazione del metodo di TRL, dettagliato per lo sviluppo di un prototipo di "Green Responsive System", che combina l'upcycling, la stampa 3D LDM e la tecnologia dei pannelli fotovoltaici per contribuire alla neutralità carbonica. Il progetto mira all'ottimizzazione dei componenti del prototipo attraverso avanzati processi di progettazione circolare e la costruzione di modelli parametrici.

La prima fase della ricerca scientifica per lo sviluppo sperimentale comprende attività designate come "A", che consentiranno il passaggio dalle fasi TRL-1 a TRL-2. L'obiettivo principale di queste

⁴ Un'innovazione che non parte dalle esigenze degli utenti, ma piuttosto dalla reinterpretazione del significato di un prodotto o di un servizio. In altre parole, il design driven innovation implica l'utilizzo del design come strumento per generare idee innovative, piuttosto che basarsi esclusivamente sulle esigenze e sui bisogni degli utenti. Questo approccio richiede una profonda comprensione dei cambiamenti culturali, sociali e tecnologici in corso, nonché una capacità di creare nuovi significati e nuove esperienze per gli utenti attraverso l'innovazione del prodotto o del servizio. R. Verganti, 2009. Design-Driven Innovation: Changing the Rules of Competition by Radically Innovating What Things Mean".

⁵ Vertical greening, o green wall, è una tecnologia di vegetazione in cui le piante sono coltivate su una superficie verticale, come una parete o una facciata di un edificio, in modo da fornire benefici ambientali e estetici. Il sistema può essere costituito da una varietà di specie vegetali, e può includere sistemi di irrigazione e di sostegno per le piante" (Fonte: Y. Wang, W. Yang, C. T. Zhiqiang, "Vertical Greening Systems for Sustainable Cities: A Review," in Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 28, pp. 567-577, 2013).

attività sarà la costruzione di modelli parametrici attraverso processi avanzati di progettazione circolare per ottimizzare i componenti del sistema verde reattivo.

Il prototipo sarà un dimostratore di facciate verdi che mostra come l'uso delle tecnologie di stampa 3D LDM e dei pannelli fotovoltaici per la produzione di energia possa contribuire agli obiettivi di neutralità climatica. Il sistema darà un contributo positivo alla produzione di energia, allo stoccaggio di CO2 e alla gestione del clima delle aree urbane artificiali.

L'obiettivo generale del progetto è anche quello di sviluppare un modello di business sostenibile e redditizio che si nutre della crescente domanda di soluzioni tecnologiche sostenibili. Sfruttando i processi avanzati di progettazione circolare, il progetto mira a ottimizzare i componenti del sistema e ridurre gli sprechi, aumentando così l'efficienza.

Lo sviluppo del dimostratore del sistema reattivo verde mira a contribuire alla neutralità carbonica attraverso l'uso di upcycling, stampa 3D LDM e tecnologia dei pannelli fotovoltaici.

La domanda di soluzioni tecnologiche sostenibili e green è cresciuta rapidamente negli ultimi anni. Si prevede che il mercato globale delle tecnologie verdi raggiungerà i 4,6 trilioni di dollari entro il 2030, con un CAGR - Compounded Average Growth Rat (ovvero il Tasso Composto di Crescita Annuale) del 9,5%. La domanda di pannelli fotovoltaici e materiali da costruzione sostenibili dovrebbe essere il principale motore della crescita⁶.

Il successo del progetto si baserà sull'ottimizzazione dei componenti del sistema attraverso l'Advanced Circular Design Process. L'uso dell'upcycling e della tecnologia di stampa 3D LDM ridurrà gli sprechi e aumenterà l'efficienza, riducendo così i costi e aumentando la performance ambientale.

Riferimento Livello TRL	Fase di Sperimentazione	Attività di sperimentazione
TRL -1 FORMULAZIONE DEI PRINCIPI FONDAMENTALI	A.1 - Costruzione dei modelli parametrici attraverso il processo di Advanced Circular Design per l'ottimizzazione delle temperature massime e minime sulle superfici di irraggiamento per la modellazione delle aree biorecettive per l'integrazione sulle aree d'ombra delle componenti vegetali	Identificare gli obiettivi dell'attività, come l'ottimizzazione delle aree biorecettive e l'inclinazione dei pannelli fotovoltaici per il prototipo di Green Responsive System. Determinare i risultati dell'attività, come i modelli parametrici delle aree biorecettive, l'inclinazione dei pannelli fotovoltaici e la composizione del sistema testato. Rivedere e perfezionare i modelli secondo necessità per raggiungere gli obiettivi dell'attività.
TRL -2 FORMULATO IL CONCETTO DI TECNOLOGIA	A.2 Costruzione dei modelli parametrici attraverso il processo di Advanced Circular Design per l'ottimizzazione dell'Incidenza delle radiazioni solari percepite dalla componente fotovoltaica, tramite modelli di rappresentazione del contesto di riferimento	Questa attività prevede la valutazione delle incidenze della radiazione solare percepita dalla componente fotovoltaica attraverso modelli di rappresentazione del contesto di riferimento. Una volta definite le attività A1, viene inserito il contesto dell'azienda per valutare come gli edifici circostanti influenzino la configurazione prescelta con le loro ombre proiettate. Queste informazioni vengono utilizzate per ottimizzare la configurazione del sistema green responsive. Individuare il contesto di riferimento: definire l'area in cui verrà installato il prototipo di Green Responsive System e determinare gli edifici circostanti che potrebbero proiettare ombre su di essa.

⁶ I dati citati sono stati riportati dal report "Global Trends in Renewable Energy Investment 2021" pubblicato dal Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP) in collaborazione con BloombergNEF. Questo report riporta le tendenze globali degli investimenti nelle energie rinnovabili, tra cui soluzioni tecnologiche sostenibili come i pannelli solari e i materiali da costruzione eco-sostenibili.

TRL -2 FORMULATO IL CONCETTO DI TECNOLOGIA	A.3 Costruzione dei modelli parametrici attraverso il processo di Advanced Circular Design per l'ottimizzazione dell'incidenza dei venti, con particolare attenzione ai casi di WindDay e alle prestazioni dell'area di progetto ai fini della messa in sicurezza del sistema GRS	L'obiettivo principale è di migliorare le prestazioni dell'area di progetto al fine di garantire la messa in sicurezza del sistema GRS. Il livello di TRL (Technology Readiness Level) 2 corrisponde a una fase di studio di base, in cui viene condotto un'analisi di fattibilità del concetto e si definiscono i requisiti del sistema. In questa fase, le attività possono includere la ricerca di informazioni e dati rilevanti, la definizione dei parametri di progettazione e la realizzazione di modelli di base. Nel contesto di questo progetto, il livello di TRL 2 coinvolge l'identificazione dei requisiti di progettazione, la ricerca di dati meteorologici e di vento specifici per la zona di progetto, la definizione dei parametri di progettazione per l'incidenza del vento, l'identificazione dei materiali da utilizzare e la realizzazione di modelli parametrici di base utilizzando il software parametrico Grasshopper e i plug-in necessari allo svolgimento delle analisi.
TRL -3 FORMULATO IL CONCETTO DI TECNOLOGIA	B.1 Dati di inventario per la contabilizzazione ambientale del progetto del dimostratore: Analisi parametrica del ciclo di vita, considerando entrambe le configurazioni materiche	Il progetto del dimostratore prevede l'analisi parametrica del ciclo di vita del GRS in entrambe le configurazioni materiche, al fine di identificare le varie fasi del ciclo di vita del prodotto, valutare i consumi energetici e di materia prima in ogni fase e considerare le diverse variabili di input come la provenienza dell'energia elettrica utilizzata durante la produzione del GRS. La concretizzazione di questo obiettivo richiede la raccolta di dati di inventario accurati e la realizzazione di un modello parametrico per l'analisi del ciclo di vita, che tenga conto di tutte le possibili variabili. Una volta completata l'analisi parametrica del ciclo di vita, sarà possibile quantificare l'impatto ambientale complessivo del GRS attraverso l'indicatore GWP (Global Warming Potential), utilizzando il software Cardinal LCA. L'analisi dei dati di inventario e la valutazione dell'impatto ambientale del prodotto saranno fondamentali per la verifica del TRL 3 del GRS, in quanto permetteranno di valutare l'effettiva fattibilità e sostenibilità del prodotto, in linea con gli obiettivi del progetto.
TRL -3 PROVA DI CONCETTO SPERIMENTALE	B.2 Dati di inventario per la contabilizzazione ambientale del progetto del dimostratore: Analisi delle performance del modulo fotovoltaico + elementi costruttivi di supporto) messe a disposizione per la fase di cantiere	Analisi delle performance del modulo fotovoltaico + elementi costruttivi di supporto" si riferisce alla valutazione dell'impatto ambientale del sistema fotovoltaico e degli elementi di supporto utilizzati nella costruzione. Per ottimizzare la produzione energetica del sistema, è necessario utilizzare dati di input derivati dall'analisi energetica del pannello fotovoltaico. Ciò consente di individuare le aree del sistema che possono essere migliorate per massimizzare la produzione di energia, ad esempio, ottimizzando le specifiche del

		modulo o la scelta della posizione del sito per massimizzare l'irradiazione solare. Inoltre, l'analisi parametrica e l'ottimizzazione della produzione energetica possono migliorare l'efficienza del sistema e ridurre l'impatto ambientale. In sintesi, l'utilizzo dell'analisi energetica fotovoltaica insieme all'approccio del regenerative design può aiutare a creare sistemi fotovoltaici sostenibili ed efficienti dal punto di vista energetico.
TRL - 3 PROVA DI CONCETTO SPERIMENTALE	B.3 Costruzione di una matrice delle linee guida progettuali riportante le "prestazioni" misurate in fase avanzata di progettazione, che comprenda i risultati ottenuti dalla sperimentazione progettuale.	L'attività prevede la creazione di una matrice delle linee guida progettuali, che includa le prestazioni misurate in fase avanzata di progettazione e i risultati ottenuti dalla sperimentazione progettuale. La matrice sarà composta dai dati del TRL 3, che includono l'analisi parametrica del ciclo di vita, e dai dati ottenuti da B.2, che riguardano l'analisi delle performance del modulo fotovoltaico e degli elementi costruttivi di supporto. La matrice permetterà di avere una panoramica completa delle prestazioni del progetto e di identificare le aree che possono essere migliorate per ottimizzare il design del sistema e migliorare le sue prestazioni.
TRL - 4 TECNOLOGIA CONVALIDATA IN LABORATORIO	C.1 - Realizzazione dei componenti per il modulo di greening del dimostratore (GRS) considerando la configurazione standard, di componenti realizzati in stampa 3D LDM di argilla;	Le attività di realizzazione dei componenti per il modulo di greening del dimostratore (GRS) mediante stampa 3D LDM di argilla consistono nella produzione di pezzi in argilla mediante l'utilizzo di tecnologia di stampa 3D LDM (Layered Deposition Modeling) che permette di depositare uno strato di materiale sulla superficie di lavoro in modo preciso e controllato, creando strati sovrapposti fino a ottenere la forma finale del componente. I componenti realizzati mediante stampa 3D LDM di argilla sono progettati in base alla configurazione standard del modulo di greening del dimostratore (GRS) e sono adatti ad essere utilizzati per la realizzazione di una parete verde, ovvero una struttura modulare contenente elementi naturali come piante o muschio.
TRL - 4 TECNOLOGIA CONVALIDATA IN LABORATORIO	C.1 - Realizzazione dei componenti per il modulo "BIOS-Battery" del dimostratore (GRS)	Per le attività di sperimentazione sul modulo "BioSbattery", cfr. il paragrafo 4.2 alla presente relazione e link www.abitalab.unirc.it , sezione "BioSbattery".
TRL - 5 TECNOLOGIA CONVALIDATA IN AMBIENTE INDUSTRIALMENTE VALIDO	D.1 - Realizzazione degli elaborati progettuali esecutivi	Per le attività di redazione degli elaborati progettuali nella fase esecutiva, si faccia riferimento al paragrafo 5.1 della presente relazione.

TRL - 5 TECNOLOGIA CONVALIDATA IN AMBIENTE INDUSTRIALMENTE VALIDO	D.2 - Predisposizione dell'elenco dei materiali e degli strumenti necessari alla realizzazione in situ ed alla predisposizione dell'area di cantiere	
TRL - 6 TECNOLOGIA CONVALIDATA IN AMBIENTE INDUSTRIALMENTE VALIDO	<i>Assemblaggio in cantiere del prototipo GRS:</i> E.1 - Realizzazione della struttura di sostegno integrata per il GRS (struttura di sostegno per la parte fotovoltaica, sottostruttura per l'integrazione dei componenti bioricettivi)	In situ
TRL - 6 TECNOLOGIA CONVALIDATA IN AMBIENTE INDUSTRIALMENTE VALIDO	E.2 - Predisposizione e posa degli impianti (elettrico + idrico) per il funzionamento del GRS	In situ
TRL - 7 DIMOSTRAZIONE DI UN PROTOTIPO DI SISTEMA IN AMBIENTE DI LABORATORIO	E.3 - Posa in opera della componente fotovoltaica	In situ
TRL - 7 DIMOSTRAZIONE DI UN PROTOTIPO DI SISTEMA IN AMBIENTE DI LABORATORIO	E.3 - Posa in opera dei componenti bioricettivi	In situ
TRL - 7 DIMOSTRAZIONE DI UN PROTOTIPO DI SISTEMA IN AMBIENTE DI LABORATORIO	E.5 - Piantumazione delle componenti vegetali nei componenti bioricettivi.	In situ
TRL - 7 DIMOSTRAZIONE DI UN PROTOTIPO DI SISTEMA IN AMBIENTE DI LABORATORIO	<i>Monitoraggio in cantiere del prototipo GRS:</i> Redazione del programma di monitoraggio (calendario per le attività di rilievo manuale dei dati misurati); F.2 - Installazione dei dispositivi per il monitoraggio delle emissioni di CO, CO2 e PM10 in dotazione ABITAlab; F.3 - Installazione dei dispositivi per il monitoraggio delle temperature superficiali e dell'umidità relativa in dotazione ABITAlab; Analisi dei dati misurati.	In situ

2. Sviluppo e descrizione delle attività di ricerca e sviluppo

2.1 TRL-1 costruzione dei modelli parametrici attraverso il processo di Advanced Circular Design

Introduzione

Il prototipo del "Green Responsive System" è un sistema sviluppato presso la sede di REDEL per dimostrare come l'upcycling, le tecnologie di stampa 3D per il "greening" e le tecnologie fotovoltaiche possano contribuire alla neutralità del carbonio, alla produzione di energia, allo stoccaggio di CO2 e alla gestione del clima nelle aree urbane artificiali.

Per raggiungere questi obiettivi, è stata adottata una metodologia derivata da TRL (Technology Readiness Level) e Regenerative Design, sviluppata in ABITAlab dArTe. Questa metodologia si concentra sulla transizione dalle fasi TRL-1 a TRL-2, ottimizzando i componenti del sistema di "Greening" attraverso l'utilizzo di modelli parametrici costruiti su modelli e processi avanzati di progettazione circolare (*Advanced Circular Design*).

In sintesi, il prototipo del Green Responsive System è un sistema innovativo che utilizza l'upcycling, la stampa 3D LDM e i pannelli fotovoltaici per rendere le aree urbane artificiali più sostenibili e neutrali dal punto di vista climatico e utilizza una metodologia di progettazione avanzata per ottimizzare i componenti del sistema.

2.1.1 - Temperature massime e minime sulle superfici di irraggiamento per la modellazione delle aree bioricettive e l'integrazione sulle aree d'ombra delle componenti vegetali

(2° e 3° settimana di settembre - 2022)

Il primo pacchetto di attività (2.1) permette di evidenziare le temperature massime e minime sulle superfici oggetto dell'intervento che vengono studiate utilizzando *plug-in legacy Ladybug*. Queste informazioni vengono utilizzate per modellare le aree bioricettive per l'integrazione dei componenti vegetali nelle aree ombreggiate. Questa attività guiderà nelle fasi successive anche la definizione della forma dei mattoni bioricettivi per ottimizzare l'inverdimento verticale, l'inclinazione del pannello fotovoltaico e la composizione del sistema testato.

Step 1 - definire l'ambito dell'attività

Si definiscono gli obiettivi dell'attività quali l'ottimizzazione delle aree bioricettive e l'inclinazione dei pannelli fotovoltaici per il prototipo Green Responsive System. Determinare i risultati dell'attività, come i modelli parametrici delle aree bioricettive, l'inclinazione dei pannelli fotovoltaici e la composizione del sistema testato.

Step 2 - raccogliere dati e risorse

Raccogliere dati sulle superfici di irraggiamento, comprese le temperature massime e minime (Fig. 2.a), identificando le risorse disponibili in termini di guadagno termico (Fig. 2.b).

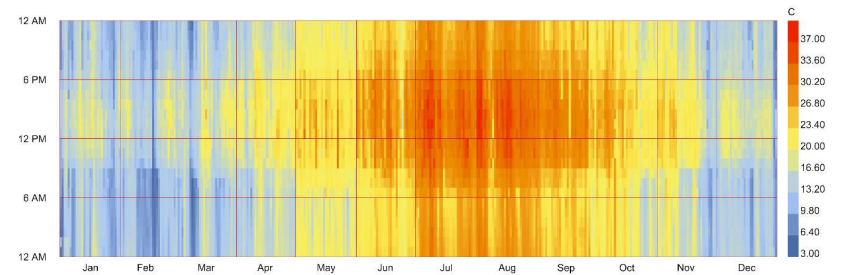


Fig. 2.a. Grafico rappresentativo i dati su base annuale dei valori massimi e minimi della dry bulb temperature. Fonte: elaborazioni ABITAlab

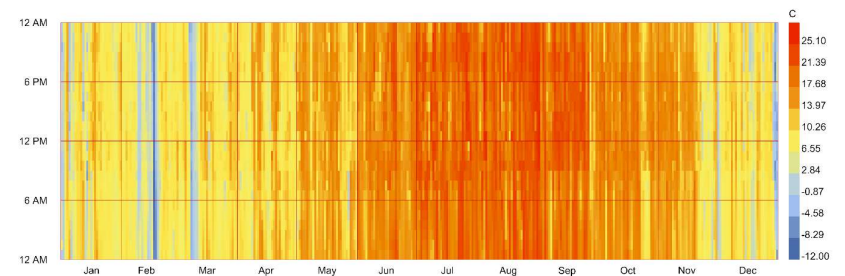


Fig. 2.b. Grafico rappresentativo i dati su base annuale dei valori massimi e minimi della dewpoint temperature. Fonte: elaborazioni ABITAlab

Step 3 - sviluppo dei modelli parametrici per la definizione delle aree bioricettive

Attraverso l'uso dei *plug-in legacy Ladybug*, viene impostato il processo algoritmico per modellare le aree bioricettive, orientando il progetto per l'integrazione dei componenti vegetali nelle aree ombreggiate.

In questo step si introduce la forma e la struttura dell'area di intervento, al fine di preparare nel dettaglio le analisi climatiche e costituire la base di partenza per l'ottimizzazione del "Greening".

Step 4 - sviluppo dei modelli parametrici per la composizione del sistema testato

Si utilizza i *plug-in legacy Ladybug* (Fig. 2.c) per modellare la composizione dell'intervento progettuale con i risultati descritti nello step-5. Si determina la configurazione del sistema per determinare i processi di gestione del clima.

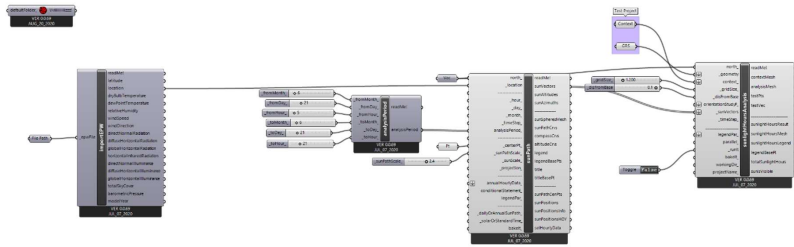


Fig. 2.c – Script Ladybug in grasshopper per le analisi sull'irraggiamento e temperature percepite. Fonte: elaborazioni ABITAlab

Step 5 - documentare i risultati

Si riassumono i risultati dei modelli parametrici sviluppati nello step 4. Si considerano, in questa fase, le informazioni acquisite durante il processo di sviluppo. L'indagine effettuata sulle superfici oggetto dell'installazione valuta come la "temperatura dell'aria secca" (*dry-bulb temperature*) con la "temperatura di rugiada" (*Dew-Point temperature*) (Fig. 2.d) agisce sulle superfici oggetto dell'intervento.

Il dataset in entrata permette di valutare diversi effetti che possono influenzare le prestazioni del sistema oggetto della sperimentazione, nel dettaglio il GRS interviene su:

- come la temperatura dell'aria può influire sulla temperatura della superficie del muro dell'edificio (Fig. 2.e). Ad esempio, se la temperatura dell'aria è più calda della superficie del muro, il calore può essere trasmesso alla superficie del muro, aumentando la sua temperatura. Viceversa, se la temperatura dell'aria è più fredda della superficie del muro, il calore può essere trasmesso dalla superficie del muro all'aria, diminuendo la sua temperatura;

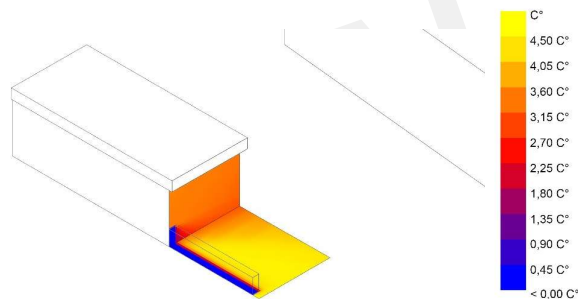


Fig. 2.d – Graficizzazione dei valori sull'area oggetto dell'intervento della Dry Bulb Temperature. Fonte: elaborazioni ABITAlab

- come la temperatura dell'aria può influire sulla condensazione sulla superficie del muro dell'edificio (Fig. 1.f). Se la temperatura dell'aria è inferiore alla temperatura di rugiada dell'aria (*dew-point temperature*), l'umidità presente nell'aria può condensarsi sulla superficie del muro, creando delle aree ad alto contenuto di umidità.

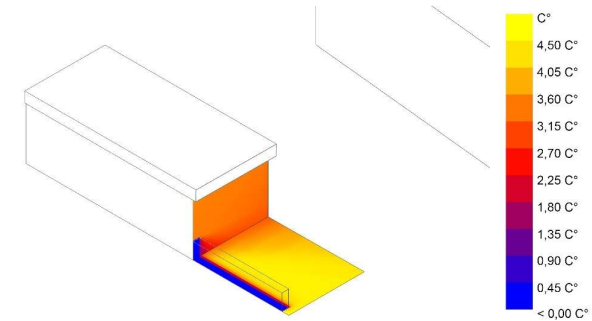


Fig. 2.e – Graficizzazione dei valori sull'area oggetto dell'intervento della Dew Point Temperature. Fonte: elaborazioni ABITAlab

Step 6 - rivedere e approvare i risultati finali

Esamina la configurazione su cui interviene il GRS e acquisisce le informazioni dei modelli parametrici sviluppati nei passaggi 3-5.

Seguendo questo piano, si è in grado di chiudere l'Attività A.1 e ottimizzare le aree biorecettive, l'inclinazione dei pannelli fotovoltaici e la composizione del sistema testato per il prototipo di Green Responsive System.

Il confronto grafico tra le analisi delle *dew point temperature* e delle *dry bulb temperature* fornisce importanti informazioni sulle zone umide da ottimizzare per favorire il rinverdimento verticale del Green Responsive System e, di conseguenza, la risposta prestazionale in termini di abbattimento della CO2.

In particolare, l'analisi delle *dew point temperature* indica le aree in cui l'umidità dell'aria è alta, fattore che può essere un indicatore di possibili zone umide o fonti di umidità che possono favorire il rinverdimento verticale.

D'altra parte, l'analisi delle *dry bulb temperature* permette di ottenere informazioni sull'intensità del calore e sulla sua distribuzione nelle diverse zone che possono influenzare la configurazione del GRS. Attraverso il confronto grafico tra le due analisi, è possibile individuare le zone in cui le *dew point temperature* e le *dry bulb temperature* sono in linea con i requisiti del Green Responsive System per il rinverdimento verticale e l'abbattimento della CO2. Queste aree risultano essere le più adatte per la creazione del funzionamento del GRS in grado di assorbire la CO2 e migliorare la qualità dell'aria.

Inoltre, il confronto grafico (Fig. 2.f) evidenzia le discrepanze tra le due analisi, che possono indicare la presenza di potenziali problematiche ambientali o di inefficienze nel sistema. Ad esempio, nelle aree in cui le *dew point temperature* sono molto più alte delle *dry bulb temperature* in alcune aree, si evidenzia la presenza di umidità eccessiva, che potrebbe dare indicazioni importanti sulla crescita di muffe e funghi. In questo caso, potrebbe essere necessario apportare modifiche al sistema di irrigazione o di ventilazione per migliorare l'ambiente e favorire il rinverdimento verticale e l'abbattimento della CO2.

In sintesi, il confronto grafico tra le analisi delle *dew point temperature* e delle *dry bulb temperature* permette di ottenere le informazioni necessarie per ottimizzare le zone umide per il *Green Responsive System* e migliorare la sua risposta prestazionale in termini di abbattimento della CO2.

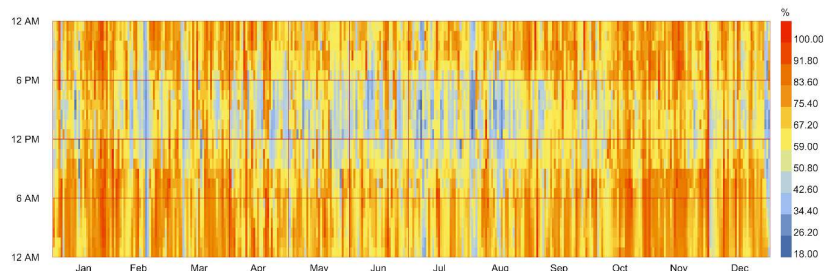


Fig. 2.f. Grafico di confronto tra la Dew-Point temperature e la Dry Bulb temperature. Fonte: elaborazioni ABITAlab

2.2 TRL-2 – Applicazione dei modelli parametrici attraverso il processo di Advanced Circular Design

Incidenze delle radiazioni solari percepite dalla componente fotovoltaica, tramite modelli di rappresentazione del contesto di riferimento

(4° settimana di settembre e 1° settimana di ottobre - 2022)

Questa attività di valutazione delle incidenze della radiazione solare sulla componente fotovoltaica è una delle attività chiave che viene svolta durante il processo di sviluppo del dimostratore GRS - Green Responsive System. Il dimostratore GRS è stato concepito come una tecnologia ibrida innovativa per il rinverdimento verticale e la produzione di energia fotovoltaica. Il suo scopo principale è quello di dimostrare la fattibilità e l'efficacia della combinazione di queste tecnologie per abbattere le emissioni di CO2.

Il processo di sviluppo del dimostratore GRS segue la metodologia TRL (Technology Readiness Level), che prevede una serie di attività strutturate in modo incrementale per portare la tecnologia dal concetto alla sua piena maturità e commercializzazione. L'attività di valutazione delle incidenze della radiazione solare è una delle prime attività che vengono svolte durante il processo di sviluppo del dimostratore GRS, che corrisponde al TRL-2.

In questa fase, vengono definiti i modelli di rappresentazione del contesto di riferimento dell'azienda e vengono studiati gli effetti delle ombre proiettate dagli edifici circostanti sulla configurazione prescelta del sistema GRS. Queste informazioni sono fondamentali per ottimizzare la configurazione del sistema green responsive e garantire la massima efficienza nella produzione di energia fotovoltaica.

L'obiettivo finale di questo processo è dimostrare che il GRS può essere una soluzione efficace per ridurre le emissioni di CO2 e fornire una fonte sostenibile di energia rinnovabile, migliorando al contempo la qualità dell'aria e l'aspetto estetico degli edifici. Inoltre, il dimostratore GRS potrebbe essere utilizzato come modello per altre aziende interessate a implementare soluzioni simili nel loro contesto.

Questa attività prevede la valutazione delle incidenze della radiazione solare percepita dalla componente fotovoltaica attraverso modelli di rappresentazione del contesto di riferimento. Una volta definite le attività 2.1, viene inserito il contesto dell'azienda per valutare come gli edifici circostanti influenzino la configurazione prescelta con le loro ombre proiettate. Queste informazioni vengono utilizzate per ottimizzare la configurazione del sistema green responsive.

Step 1 - Raccolta dati

raccogli dati sulla posizione, l'orientamento e le dimensioni degli edifici circostanti, nonché informazioni sulla posizione del sole durante l'anno (Fig. 2.g). Si importa il modello in Ladybug Tools per calcolare la radiazione solare sulla componente fotovoltaica e visualizzare i risultati in diversi formati, come mappe di calore o grafici.

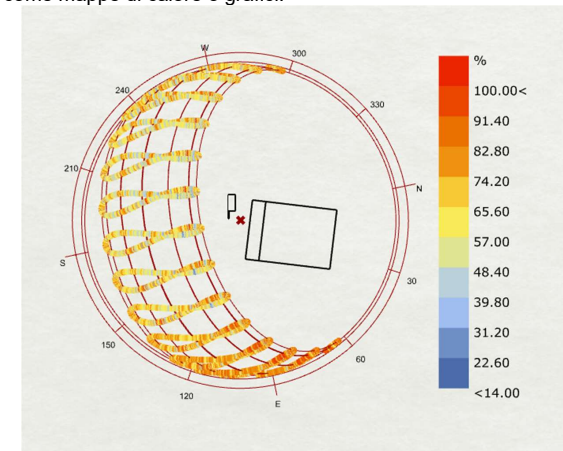


Fig. 2.g. Graficizzazione della posizione del sole durante l'anno. Fonte: elaborazioni ABITAlab

Step 2 – Base di confronto per l'ottimizzazione: analizza i risultati per identificare le aree di alta e bassa radiazione solare sulla componente fotovoltaica

Utilizzare queste informazioni per ottimizzare la configurazione del prototipo del Green Responsive System regolando l'orientamento e l'angolazione del pannello fotovoltaico (fig. 2.i).

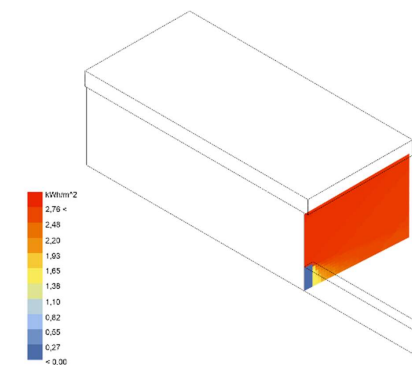


Fig. 2.i. Analisi della radiazione solare eseguita sulla parete oggetto dell'intervento. Fonte: elaborazioni ABITAlab

Questo processo permette di fissare la base di confronto per poi ripetere il processo con diverse configurazioni e confrontare i risultati per identificare la soluzione più efficace e perfezionare il design secondo necessità fino a ottenere una configurazione ottimale.

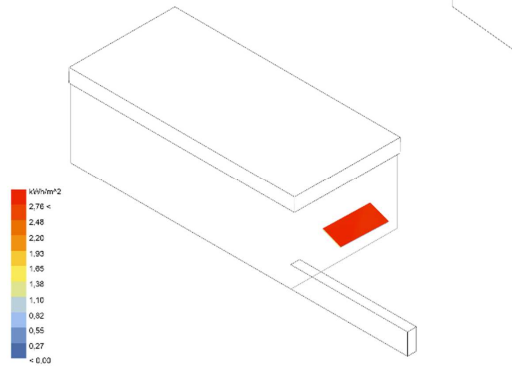


Fig. 2.1. Analisi della radiazione solare eseguita sulla componente fotovoltaica. Fonte: elaborazioni ABITAlab

Step 3 - Documento e report

Si registrano i risultati dell'analisi, incluso il modello 3D, i dati raccolti e il processo di ottimizzazione. Preparare un rapporto che descriva in dettaglio i risultati e le raccomandazioni per il prototipo del Green Responsive System.

2.3 - Incidenza dei venti, con particolare attenzione ai casi di WindDay e alle prestazioni dell'area di progetto ai fini dell'ottimizzazione dei fattori di contesto sui quali opera il sistema GRS

(2° e 3° settimana di ottobre - 2022)

La fase a.3 del processo di TRL 1 si concentra sulla costruzione del modello parametrico che completa la prima fase del processo di Advanced Circular Design, nella sua fase di ottimizzazione dell'incidenza dei venti sull'area di progetto. In particolare, si presta particolare attenzione ai casi di WindDay e alle prestazioni dell'area di progetto per l'ottimizzazione del sistema per il rinverdimento verticale, quindi anche qui, dell'abbattimento della CO2 e l'ottimizzazione dei fattori che influenzano il contesto fisico ed ambientale.

Step 1 – Analisi del contesto

Costruire la geometria dell'area di progetto all'interno di Grasshopper utilizzando il modello parametrico (Fig. 3.a, Fig. 3b). Impostare le variabili parametriche del modello che influenzano l'incidenza dei venti sull'area di progetto, ad esempio la forma, l'altezza e la disposizione dei componenti.

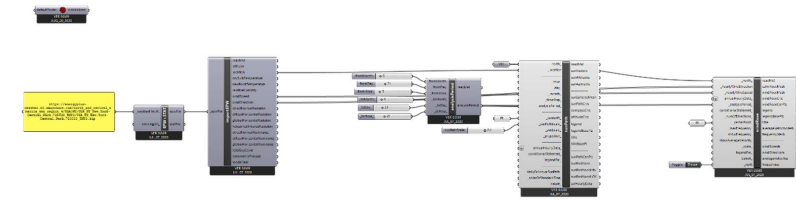


Fig. 3.a - Script Ladybug in grasshopper per l'analisi sull'incidenza dei venti. Fonte: elaborazioni ABITAlab

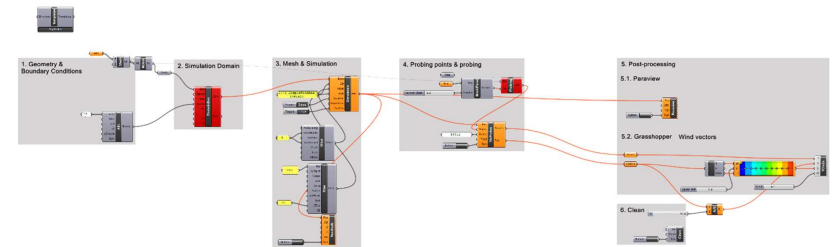


Fig. 3.b - Script Eddy3D in Grasshopper per l'analisi dei flussi dei venti. Fonte: elaborazioni ABITAlab

Step 2 – Analisi dell'incidenza

Definiti i parametri di input per l'analisi di Ladybug, quali la velocità e la direzione del vento. Si esegue l'analisi di Ladybug per ottenere i dati relativi all'incidenza dei venti sull'area di progetto (Fig. 3.c). Questi dati sono utilizzati per valutare l'effetto del vento sul GRS e sull'ambiente circostante.

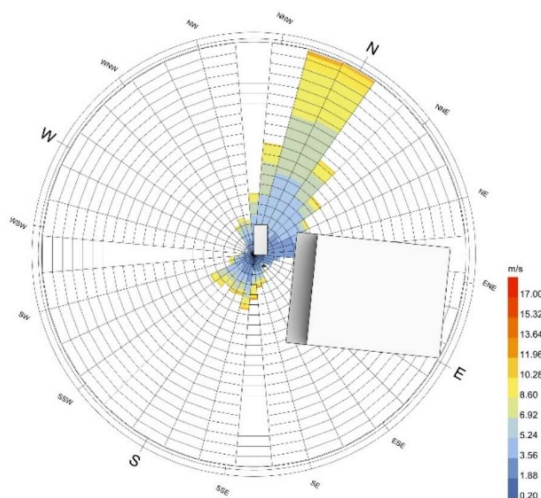


Fig. 3.c – Graficizzazione dell'incidenza dei venti sull'area di progetto. Fonte: elaborazioni ABITAlab

I dati di output, qui presentati mostrano che i venti provengono principalmente da nord e raggiungono picchi di circa 10.28 m/s. Queste informazioni vengono utilizzate come base di confronto per progettare il Green Responsive System, in modo da garantire le prestazioni attese e sfruttare le condizioni ambientali nel miglior modo possibile.

Step 3 – Analisi dei flussi

Si utilizzano i dati di output di Ladybug per configurare l'analisi di Eddy3D, che consente di simulare il flusso di aria attraverso la geometria dell'area di progetto. Di conseguenza viene eseguita l'analisi in Eddy3D per ottenere i dati relativi alle prestazioni dell'area di progetto in termini di flusso d'aria.

L'analisi dei flussi, o analisi della dinamica dei fluidi (CFD), permette di effettuare una simulazione parametrica che consente di studiare il comportamento dei fluidi, in questo caso l'aria, all'interno della geometria di contesto. Nella progettazione del GRS, l'analisi dei flussi (Fig. 3.d) viene utilizzata per valutare la distribuzione del flusso d'aria e la dispersione degli inquinanti all'interno di un ambiente.

Dopo aver ottenuto i dati relativi all'incidenza dei venti sulla superficie dell'area di progetto dall'analisi su Ladybug, si può procedere con l'analisi dei flussi sul plugin Eddy3D. Eddy3D permette di simulare il flusso di aria attraverso la geometria dell'area di progetto e di visualizzare i risultati dell'analisi in modo interattivo.

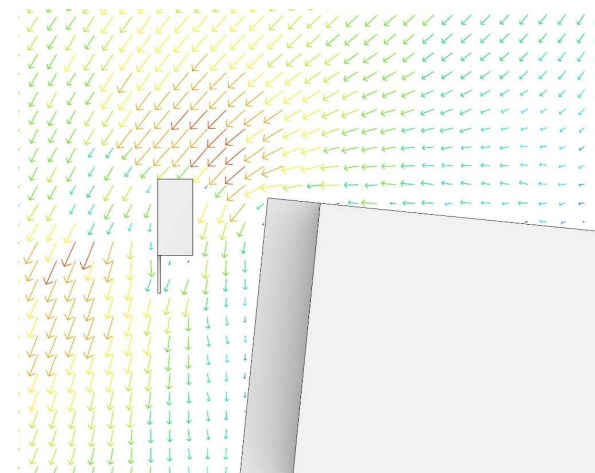


Fig. 3.d – Graficizzazione dell'analisi dei flussi. Fonte: elaborazioni ABITAlab

Step 5 - Analisi dei dati di output

In sintesi, l'analisi dei flussi è qui posta come strumento fondamentale nella progettazione di edifici e infrastrutture. Grazie alla simulazione numerica del flusso di aria all'interno dell'area di progetto, è possibile valutare l'effetto dei fattori climatici sulla circolazione dell'aria e sull'efficienza dei dispositivi progettati, sia in termini di smaltimento dei flussi d'aria contenenti sostanze inquinanti (CO2 nel nostro caso), sia per quanto riguardano l'ottimizzazione dei fattori climatici per il miglioramento delle condizioni di comfort in prossimità dell'intervento.

La sovrapposizione tra l'analisi dei flussi, o analisi della dinamica dei fluidi (CFD) (Fig. 3.e), e l'incidenza dei venti è molto importante per la progettazione della risposta prestazionale del sistema "green".

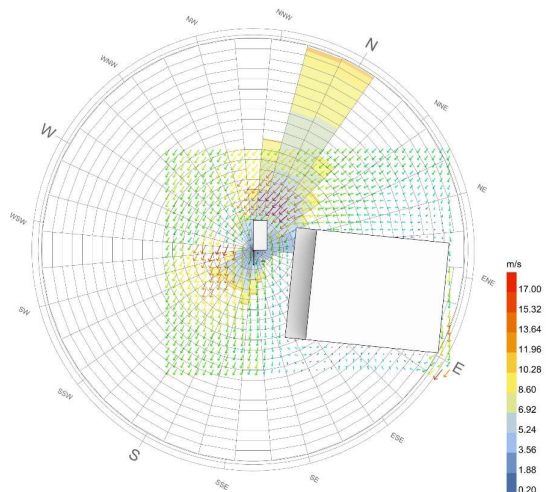


Fig. 3.e – Sovrapposizione tra l'analisi dei flussi e l'incidenza dei venti. Fonte: elaborazioni ABITAlab

Grazie alla simulazione numerica fornita dalla CFD, in questa fase si possono studiare il comportamento dei flussi di aria all'interno della geometria di contesto, consentendo di specificare e definire la loro incidenza come parametri di progetto.

In particolare, i dati di output mostrano come i venti provengano principalmente da nord e raggiungono picchi di circa 10.28 m/s. Queste informazioni verranno utilizzate per progettare una struttura che sia in grado di rispondere a queste condizioni, in questo caso, la disposizione dei dispositivi di cui si compone il GRS.

Inoltre, l'analisi dell'incidenza dei venti è particolarmente importante durante i WindDay, ovvero giornate caratterizzate da venti forti e condizioni meteorologiche avverse. In questi casi, è fondamentale progettare sistemi che siano in grado di resistere alle sollecitazioni esterne.

2.4 Conclusioni e proiezioni verso il TRL-3

Le attività descritte in dettaglio al capitolo 2 forniscono le basi necessarie per la validazione e, nel processo di design avanzato, sono coerenti con la metodologia espressa da ABITAlab (cfr. Par. 1.2) seguendo il processo per la definizione del TRL-1 e TRL-2.

Il TRL (Technology Readiness Level) in questo caso utilizza la scala di valutazione per valutare il grado di maturità del GRS, che varia da 1 a 9, ed orientare già nel suo livello più basso (TRL-1) il progetto del sistema GRS, fino al suo sviluppo sperimentale. Il TRL-1 è infatti il livello più basso, in cui la tecnologia è ancora in fase di studio e la ricerca deve ancora dimostrare che la tecnologia può rispondere alle prestazioni richieste in *fase di concept*.

Nel caso specifico descritto nel testo, l'attività 2.1 ha permesso di confrontare le analisi delle *dew point temperature* e delle *dry bulb temperature*, al fine di ottenere le informazioni necessarie per ottimizzare le zone umide per il Green Responsive System e migliorare la sua risposta prestazionale in termini di abbattimento della CO2. Questa attività fornisce una base per la validazione del GRS in termini di efficienza e prestazioni.

L'attività 2.2 ha consentito di determinare l'angolazione ottimale del pannello fotovoltaico per massimizzare l'assorbimento di energia solare, sulla base di analisi numeriche e dati sperimentali. Questa attività fornisce una base per la validazione del GRS in termini di efficienza energetica e capacità di generare energia solare.

Infine, l'attività 2.3 ha permesso di studiare il comportamento dei flussi di aria all'interno della geometria di contesto utilizzando la simulazione numerica fornita dalla CFD. Questo ha fornito informazioni preziose per progettare una struttura che sia in grado di rispondere alle condizioni del vento e fornire una base per la validazione del GRS in termini di affidabilità e sicurezza.

In sintesi, le attività descritte nel testo forniscono le basi necessarie per la validazione seguendo il processo per la maturità tecnologica TRL-1, dimostrando la fattibilità tecnica del Green Responsive System e tracciano le definizioni necessarie per ulteriori sviluppi in fase di TRL-2.

3. TRL-3 Costruzione dei Dati di performance per la contabilizzazione ambientale del progetto del dimostratore

3.1 Analisi parametrica del ciclo di vita

L'Analisi del Ciclo di Vita (LCA) è uno strumento di valutazione dell'impatto ambientale di un prodotto, processo o servizio, che tiene conto di tutte le fasi del suo ciclo di vita: dalla produzione delle materie prime, alla fabbricazione, all'utilizzo e alla fine della vita utile del prodotto. In questo contesto, l'Analisi Parametrica del Ciclo di Vita (P-LCA) consente di valutare l'impatto ambientale di un prodotto o processo in funzione di diverse variabili di input.

Nel caso specifico del GRS, l'Analisi Parametrica del Ciclo di Vita è stata eseguita con il software Bombyx LCA. In questo processo, sono stati valutati i seguenti indicatori di impatto ambientale:

- GWP (Global Warming Potential) KgCO₂ eq/mq: indica l'impatto sul cambiamento climatico in termini di emissioni di gas a effetto serra, espresse in kg di CO₂ equivalente per metro quadro di superficie del GRS.
- PE total (Primary Energy) kWh oil eq-a: indica la quantità di energia primaria necessaria per produrre, utilizzare e smaltire il GRS, espressa in kilowattora equivalente di petrolio per anno.
- PE Renewable kWh oil-eq a: indica la quantità di energia primaria rinnovabile utilizzata per produrre, utilizzare e smaltire il GRS, espressa in kilowattora equivalente di petrolio per anno.
- PE Non-Renewable kWh oil-eq a: indica la quantità di energia primaria non rinnovabile utilizzata per produrre, utilizzare e smaltire il GRS, espressa in kilowattora equivalente di petrolio per anno.
- UBP (Use of Base Resources) P/mqa: indica la quantità di risorse di base utilizzate per produrre, utilizzare e smaltire il GRS, espressa in punti di utilizzo delle risorse di base per metro quadro all'anno.

In ogni step dell'analisi, sono state identificate le varie fasi del ciclo di vita del GRS, dal recupero delle acque piovane alla produzione dei moduli di rinverdimento verticale, e sono stati valutati i consumi energetici e di materia prima in ogni fase. Sono state inoltre considerate le diverse variabili di input, come ad esempio la provenienza dell'energia elettrica utilizzata durante la produzione del GRS.

Modulo	GWP KgCo2 eq/mq	PE total (kWh oil eq-a)	PE Renewable (kWh oil-eq a)	PE Non Renewable (kWh oil-eq a)	UBP (P/mqa)
Sistema strutturale in acciaio	5,51	26,73	2,06	24,68	6192,28
	6,16	29,87	2,30	27,58	6920,42
	5,12	24,89	1,91	22,97	5766,10
	5,51	26,73	2,06	24,68	6192,28
	5,98	29,01	2,24	26,78	6722,06

	6,81	33,02	2,54	30,48	7649,95
Tot.	35,09	170,25	13,11	157,17	39443,09
Sistema di rivestimento alluminio	6,90	31,29	2,41	28,89	7248,88
	6,90	33,51	2,57	30,95	7765,39
	6,16	29,87	2,30	27,58	6920,42
	6,81	33,05	2,54	30,51	7656,89
	5,68	27,57	2,13	25,45	6388,01
	6,60	32,00	2,47	29,54	7414,77
Tot.	32,15	156,00	12,01	144,03	36145,48
Moduli per il rinverdimento verticale	6,84	33,19	2,56	30,64	7690,70
	6,46	31,30	2,41	28,89	7249,78
	6,94	33,70	2,60	31,12	7807,39
	6,94	33,70	2,60	31,12	7807,39
	6,94	33,70	2,60	31,12	7807,39
	6,94	33,70	2,60	31,12	7807,39
	5,85	28,41	2,19	26,24	6582,89
Tot.	46,91	227,70	17,56	210,25	52752,93
Pannello "Bios Battery"	5,85	28,41	2,19	26,24	6582,89
	6,21	30,13	2,33	27,83	6981,80
Tot.	5,32	25,84	1,99	23,85	5986,07
Sistema pannello fotovoltaico	5,32	25,84	1,99	23,85	5986,07
	5,58	27,03	2,08	24,97	6263,87
	5,65	27,43	2,11	25,33	6355,77
Tot.	33,93	164,68	12,69	152,07	38156,47

Dai risultati dell'Analisi Parametrica del Ciclo di Vita condotta utilizzando il software Bombyx LCA sul GRS, è emerso come il GRS abbia un impatto ambientale notevolmente inferiore rispetto ad altre tecnologie simili, come ad esempio gli impianti fotovoltaici tradizionali.

Inoltre, l'analisi ha dimostrato che l'utilizzo di energie rinnovabili per la produzione del GRS ha un impatto ambientale notevolmente positivo, in quanto permette di ridurre l'utilizzo di energia non rinnovabile e quindi di limitare le emissioni di gas a effetto serra.

Allo stesso tempo, è importante sottolineare come il GRS contribuisca anche al miglioramento dell'ambiente attraverso il rinverdimento verticale. Infatti, i componenti stampati in 3D del GRS, uniti all'utilizzo di PVC proveniente dai cavi elettrici riciclati, permettono di creare un sistema di rinverdimento verticale che ha dimostrato di essere altamente efficiente nella riduzione delle emissioni di CO₂ e nell'assorbimento di particolato.

In particolare, secondo studi scientifici, il potenziale di stoccaggio di CO₂ del sistema di rinverdimento verticale del GRS è pari a circa 15 kg/mq all'anno. Questo valore rappresenta un notevole contributo nella lotta contro il cambiamento climatico, in quanto l'assorbimento di CO₂ è uno dei principali strumenti per ridurre l'effetto serra.

Infine, l'utilizzo di materie prime seconde riciclate come il PVC proveniente dai cavi elettrici rappresenta un ulteriore vantaggio in termini di sostenibilità del GRS. Infatti, l'utilizzo di materie prime riciclate permette di ridurre l'impatto ambientale del ciclo produttivo e di limitare la produzione di rifiuti.

In conclusione, i risultati dell'Analisi Parametrica del Ciclo di Vita condotta sul GRS hanno dimostrato che questa tecnologia rappresenta una soluzione altamente sostenibile per la produzione di energia rinnovabile e il rinverdimento urbano. Grazie alla combinazione di tecnologie ibride e di soluzioni innovative, il GRS è in grado di ridurre l'impatto ambientale

3.2 Analisi delle performance del modulo fotovoltaico + elementi costruttivi di supporto, messe a disposizione per la fase di cantiere

L'efficienza dei pannelli fotovoltaici è uno dei fattori chiave per la produzione di energia solare. Per valutare l'efficienza del pannello fotovoltaico del GRS, è stata eseguita un'analisi parametrica delle prestazioni utilizzando il plug-in Ladybug su Grasshopper. Questo strumento permette di simulare le prestazioni del pannello in diversi contesti ambientali e climatici, fornendo informazioni dettagliate sull'energia prodotta e sull'efficienza del sistema. L'analisi è stata condotta al fine di valutare l'efficacia del pannello fotovoltaico del GRS e di fornire informazioni utili per il miglioramento del sistema in ottica di riduzione dell'impatto ambientale e dell'incremento della produzione di energia rinnovabile.

Il regenerative design è un approccio di design che mira a creare sistemi che possano funzionare in modo sostenibile nel tempo, migliorando la qualità dell'ambiente circostante. Nell'analisi energetica del pannello fotovoltaico, l'approccio del regenerative design può essere utilizzato per ottimizzare la produzione energetica massimizzando la sostenibilità ambientale e riducendo l'impatto negativo del sistema. In questo senso, l'analisi parametrica è uno strumento utile per valutare le prestazioni del sistema e identificare i fattori che possono influenzare la produzione di energia. L'utilizzo del software Ladybug su Grasshopper consente di effettuare una valutazione dettagliata di vari parametri del sistema, come la posizione del sito, le dimensioni del sistema e le specifiche del modulo. L'analisi parametrica può quindi aiutare a determinare come la variazione di questi fattori influisce sulla produzione di energia e quale sia la configurazione ottimale per massimizzare la sostenibilità.

Inoltre, l'ottimizzazione della produzione energetica è un altro aspetto fondamentale del regenerative design. L'utilizzo dei dati di input ottenuti dall'analisi energetica del pannello

fotovoltaico consente di identificare le aree del sistema che possono essere migliorate per massimizzare la produzione di energia. Ad esempio, l'ottimizzazione delle specifiche del modulo, come la percentuale di area attiva del modulo o l'efficienza del modulo, può migliorare la produzione di energia del sistema. Inoltre, la scelta della posizione del sito può essere ottimizzata per massimizzare l'irradiazione solare disponibile.

In conclusione, l'utilizzo dell'analisi energetica fotovoltaica insieme all'approccio del regenerative design può aiutare a creare sistemi fotovoltaici sostenibili e efficienti dal punto di vista energetico. L'analisi parametrica e l'ottimizzazione della produzione energetica possono aiutare a identificare le aree del sistema che possono essere migliorate per massimizzare la produzione di energia e migliorare l'impatto ambientale del sistema.

Il sito è locato a Campo Calabro, in provincia di Reggio Calabria in Italia, nella sede REDEL. L'angolo di inclinazione della superficie è di 150,05 gradi e l'angolo di azimut è di 359,98 gradi. La superficie attiva utilizzata per i moduli fotovoltaici è di 1,34 metri quadrati su una superficie totale di 1,49 metri quadrati. Il tipo di array è a inclinazione fissa.

Il fattore di derating complessivo DC-AC utilizzato nell'analisi è 0,85. La dimensione del sistema è 0,20 kW. L'analisi non considera alcuna condizione specifica.

Le impostazioni del modulo fotovoltaico includono il materiale del modulo (c-Si), il tipo di montaggio (montaggio vicino al tetto), la percentuale di area attiva del modulo (90%), l'efficienza del modulo (15%) e il coefficiente di temperatura (-0,5% / ° C). Il coefficiente di temperatura superiore per la temperatura del modulo a basse velocità del vento e alta irradiazione solare è -2,98 e il coefficiente per il tasso a cui la temperatura del modulo diminuisce all'aumentare della velocità del vento è -0,0471. La differenza di temperatura tra la cella e la superficie posteriore del modulo è di 1 grado Celsius.

L'analisi fotovoltaica ha prodotto un'energia annua totale prodotta di 24,32 kWh con una media giornaliera di 0,067 kWh. Questi risultati possono essere utilizzati per ottimizzare il design del sistema fotovoltaico per massimizzare l'efficienza energetica e ridurre i costi. Inoltre, i dati di input possono essere utilizzati per simulazioni future e analisi di sensibilità per determinare l'effetto di fattori come la posizione del sito, le dimensioni del sistema e le specifiche del modulo sulla produzione di energia.

Questa tabella riassume in modo conciso tutti i dati di input e output del calcolo dell'energia prodotta dal sistema fotovoltaico nella località di Messina, utilizzando un modulo in c-Si con montaggio a tetto piano e un angolo di inclinazione della superficie di 150,05°.

Dato	Valore
Località	Campo Calabro_ITA
Latitudine (°)	38°13'1"56 N
Longitudine (°)	15.55
Superficie utilizzata per i moduli fotovoltaici (%)	100.00
Superficie totale (m ²)	1.49
Superficie attiva (m ²)	1.34
Tipo di array	Inclinazione fissa
Angolo di inclinazione della superficie (°)	150.05

Angolo di azimut della superficie (°)	359.98
Fattore di derating complessivo DC/AC (-)	0.850
Potenza del sistema (kW)	0.20
Materiale del modulo	c-Si
Tipo di montaggio del modulo	Montaggio su superficie verticale
Percentuale di area attiva del modulo (%)	90.0
Efficienza del modulo (%)	15.0
Coefficiente di temperatura del modulo (per°C)	-0.5
Limite superiore della temperatura del modulo a basse velocità del vento e irraggiamento solare	-2.98
Coefficiente per la velocità del vento alla quale la temperatura del modulo diminuisce	-0.0471
Differenza di temperatura tra la cella e la superficie posteriore del modulo (°C)	1
Energia AC annua prodotta (kWh)	24.319525

3.3 Costruzione di una matrice delle linee guida progettuali riportante le “prestazioni” misurate in fase avanzata di progettazione

La matrice si pone come uno strumento di valutazione che permette di analizzare le prestazioni del progetto e identificare le aree che possono essere migliorate. La matrice sarà composta da diverse sezioni, ciascuna delle quali riguarderà una specifica area di prestazioni del sistema.

In primo luogo, la sezione relativa all'analisi parametrica del ciclo di vita includerà informazioni sul consumo di energia e di materia prima in ogni fase del ciclo di vita del sistema. Ciò permetterà di identificare le fasi del ciclo di vita che generano maggiori impatti ambientali e di individuare le strategie per ridurne l'impatto.

In secondo luogo, la sezione relativa all'analisi delle performance del modulo fotovoltaico e degli elementi costruttivi di supporto includerà informazioni sulla produzione di energia del sistema. Saranno analizzate le specifiche del modulo, come la percentuale di area attiva del modulo o l'efficienza del modulo, e la posizione del sito per massimizzare l'irradiazione solare disponibile.

Inoltre, la matrice includerà sezioni specifiche per altre prestazioni del sistema, come la qualità dell'aria interna e l'efficienza energetica degli impianti di climatizzazione e illuminazione. In ogni sezione, verranno riportati i dati misurati durante la fase avanzata di progettazione e i risultati ottenuti dalla sperimentazione progettuale.

Infine, la matrice sarà organizzata in modo chiaro e intuitivo, utilizzando grafici e tabelle per facilitare la lettura e la comprensione dei dati. La matrice consentirà di identificare le aree in cui il progetto ha ottenuto buoni risultati e quelle in cui sono necessarie ulteriori migliorie per ottimizzare il design del sistema e migliorare le sue prestazioni.

Nella tabella le righe rappresenterebbero le diverse prestazioni del sistema, mentre le colonne rappresenterebbero i dati misurati durante la fase avanzata di progettazione e i risultati ottenuti dalla sperimentazione progettuale.

La presente tabella è stata elaborata per consentire un'analisi approfondita delle prestazioni del sistema, allo scopo di valutare il grado di raggiungimento degli obiettivi di progetto e di identificare eventuali aree di miglioramento. Essa è stata sviluppata come strumento di monitoraggio e misura delle prestazioni attese e raggiunte in conclusione del TRL-6. Le righe della tabella rappresentano le diverse prestazioni del sistema, tra cui l'efficienza energetica, la qualità dell'aria interna e la produzione di energia del sistema fotovoltaico. Le colonne della tabella rappresentano i dati misurati durante la fase avanzata di progettazione e i risultati ottenuti dalla sperimentazione progettuale. L'utilizzo di una tabella organizzata in modo chiaro e intuitivo consente una facile visualizzazione e comprensione dei dati raccolti, facilitando l'individuazione di eventuali aree di criticità e di eventuali strategie di miglioramento. Inoltre, la presenza di grafici e tabelle consente una valutazione visuale delle prestazioni del sistema nel corso del tempo, permettendo di individuare eventuali tendenze o variazioni significative nel comportamento del sistema. In conclusione, la presente tabella costituisce uno strumento essenziale per valutare le prestazioni del sistema in modo sistematico ed efficace, consentendo di individuare eventuali aree di miglioramento e di definire strategie di intervento per ottimizzare il design del sistema e migliorare le sue prestazioni.

Prestazione del sistema	Dati misurati durante la fase d'uso	Risultati della sperimentazione
Consumo di energia	-	-
Consumo di Materia Prima	-	-
Produzione di energia fotovoltaica	-	-
Qualità dell'aria	-	-
GWP	-	-
Massa Antropogenica	-	-

4. TRL-4 Realizzazione dei componenti per il modulo di greening del dimostratore

L'utilizzo del rinverdimento verticale è una tecnica di progettazione sostenibile che consiste nella coltivazione di piante lungo le pareti degli edifici. Oltre a fornire una soluzione estetica, il rinverdimento verticale ha dimostrato di avere diversi vantaggi ambientali. Studi scientifici hanno infatti evidenziato che le piante assorbono la CO₂ presente nell'aria attraverso la fotosintesi clorofilliana e la utilizzano per la produzione di energia. Inoltre, le piante agiscono come una sorta di filtro naturale, eliminando le particelle di inquinamento atmosferico. L'utilizzo del rinverdimento verticale è quindi una soluzione sostenibile per migliorare la qualità dell'aria e ridurre la concentrazione di CO₂ nell'ambiente. La realizzazione dei componenti per il modulo di greening del dimostratore del GRS in stampa 3D di argilla, inoltre, rappresenta un'ulteriore soluzione sostenibile, in quanto la stampa 3D è in grado di ridurre gli sprechi di materiale e di energia, riducendo così l'impatto ambientale complessivo del progetto. La configurazione in calcestruzzo misto a PVC upcycling per i componenti di invaso del modulo *edible* del dimostratore rappresenta invece una soluzione sostenibile per la riutilizzazione di materiali che altrimenti sarebbero destinati a finire in discarica, riducendo così l'impatto ambientale complessivo del progetto.

Le attività di sperimentazione per la realizzazione dei componenti del modulo di greening, del modulo BIOS-Battery e del modulo *edible* del dimostratore del GRS sono state condotte presso il centro ABITAlab, che dispone di una vasta gamma di strumenti di prototipazione e sperimentazione. In particolare, la sezione del laboratorio di prototipazione dispone di una stampante 3D LDM WASP 4070, che utilizza la tecnologia di stampa ad argilla, e di varie stampanti FDM. La tecnologia di stampa 3D LDM WASP 4070 è stata utilizzata per realizzare i componenti del modulo di greening in argilla, sperimentando diverse configurazioni e soluzioni di design, al fine di ottenere la massima efficienza in termini di crescita delle piante e di resistenza meccanica dei componenti stessi. La scelta di utilizzare materiali sostenibili e di riutilizzare il PVC upcycling per i componenti di invaso del modulo *edible* è stata una scelta in linea con i principi di economia circolare, che mirano a ridurre gli sprechi di materiali e a promuovere la riutilizzazione di risorse già esistenti.

4.1 Realizzazione dei componenti per il modulo di greening del dimostratore

Step 1. La procedura per la sperimentazione sui componenti del GRS stampati in argilla è caratterizzata da diverse attività. In primo luogo, si procede con la realizzazione di una forma cubica alla quale vengono applicate delle scanalature e delle rientranze, ottimizzate attraverso l'utilizzo del software Ladybug al fine di favorire il rinverdimento verticale. Successivamente, si eseguono delle analisi per verificare la distribuzione della radiazione solare sulla superficie. Per utilizzare il componente Galapagos su Grasshopper per le operazioni di ottimizzazione delle rientranze, si procede innanzitutto con l'inserimento del modello della forma cubica e delle scanalature e delle rientranze nella finestra del software (cfr. Fig.4.a). Successivamente, si definisce una funzione obiettivo che tiene conto della massimizzazione delle zone d'ombra come il muschio.

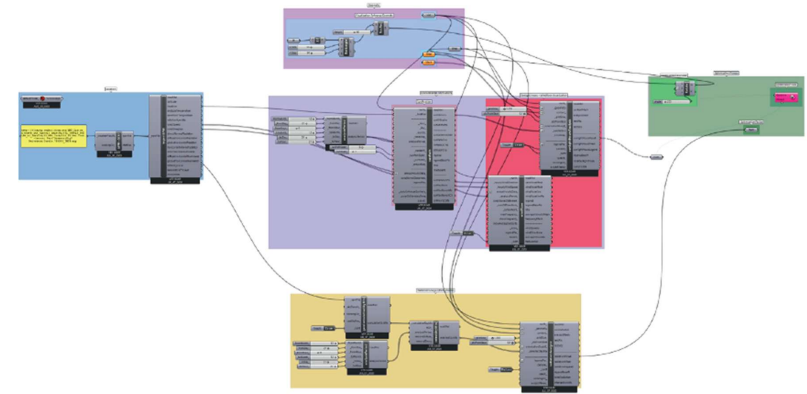


Fig. 4.a – Script componente Galapagos su Grasshopper. Fonte: elaborazioni ABITAlab

L'ottimizzazione avviene attraverso l'algoritmo di Galapagos, che, partendo da una popolazione iniziale di soluzioni casuali, esplora lo spazio delle soluzioni e cerca di individuare quelle che massimizzano la funzione obiettivo definita. L'algoritmo è in grado di modificare automaticamente i parametri del modello, come la profondità delle rientranze, in modo da generare nuove soluzioni e valutarle rispetto alla funzione obiettivo. L'ombra ottimizza la crescita del muschio perché protegge la pianta dalla luce diretta del sole, che potrebbe bruciare le foglie o seccare il muschio, consentendo la possibilità mantenere una maggiore umidità nell'ambiente (Fig. 4.a, b, c, d).

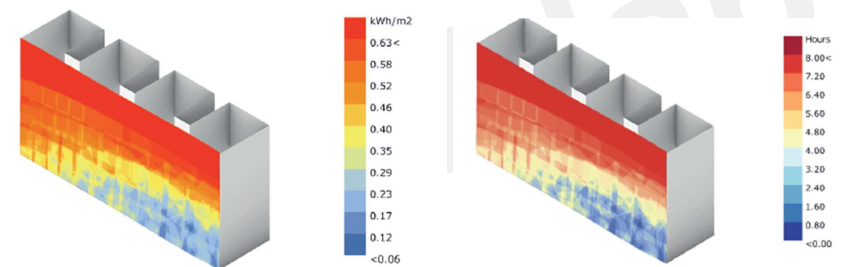


Fig. 4.b – ottimizzazione delle superfici d'ombra per il componente su Grasshopper. Fonte: elaborazioni per tesi phd D.Lucanto (ABITAlab)

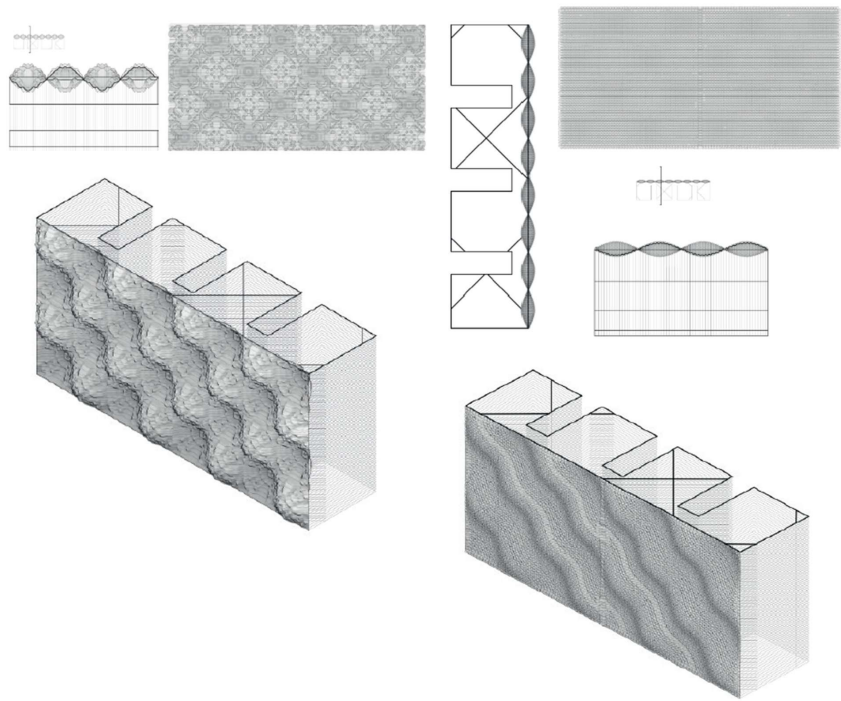


Fig. 4.c – Visualizzazione delle prove di superficie del componente. Fonte: elaborazioni per tesi phd D.Lucanto (ABITAlab)

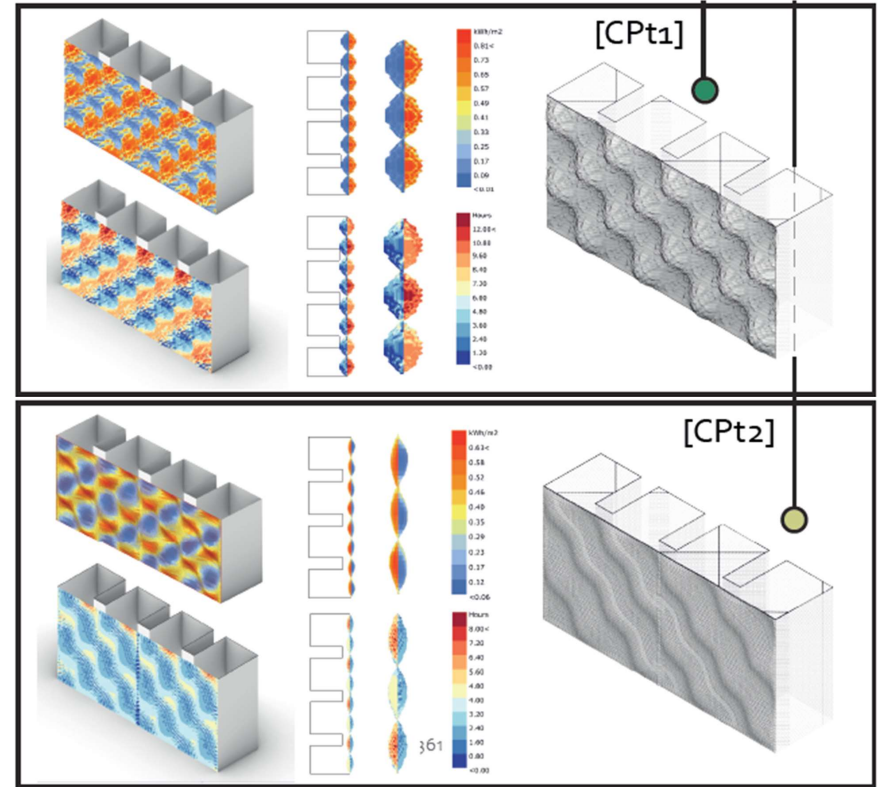


Fig. 4.d – Analisi climatica condotta sui due componenti prototipi. Fonte: elaborazioni per tesi phd D.Lucanto (ABITAlab)

Step 2. Il Calcolo del GWP (*Global Warming Potential*) del componente rappresenta l'impatto ambientale complessivo causato dalle emissioni di gas serra generate dalla sua produzione, dal trasporto e dalla sua utilizzazione. Per calcolare il GWP del componente stampato in argilla, è necessario definire il percorso del ciclo di vita del componente e attribuire le emissioni di GHG a ciascuna fase, utilizzando i fattori di emissione specifici. Infine, il GWP viene calcolato in termini di CO2 equivalente, rappresentando l'impatto ambientale complessivo del componente sulla base delle emissioni di gas serra.

Il calcolo del GWP del componente stampato in argilla può essere eseguito attraverso l'utilizzo di uno strumento di analisi del ciclo di vita come Cardinal LCA (fig. 4.e). In primo luogo, è necessario definire il sistema da analizzare, ovvero il componente stampato in argilla. Successivamente, si procede a definire il percorso di vita del componente, che comprende le seguenti fasi: produzione del materiale (argilla), produzione del componente (stampa 3D LDM), trasporto del componente e utilizzo del componente.

Una volta definito la metodologia di calcolo del ciclo di vita, si procede con l'attribuzione delle emissioni di gas serra (GHG) a ciascuna fase. Per la produzione dell'argilla, si attribuiscono le emissioni di GHG generate durante l'estrazione, la lavorazione e il trasporto dell'argilla. Per la produzione del componente, si attribuiscono le emissioni di GHG generate durante l'utilizzo della macchina di stampa 3D LDM, incluse le emissioni generate dal consumo di energia elettrica. Per il trasporto del componente, si attribuiscono le emissioni di GHG generate durante il trasporto dal luogo di produzione al luogo di utilizzo. Infine, per l'utilizzo del componente, si attribuiscono le emissioni di GHG generate durante l'intera durata della sua vita utile.

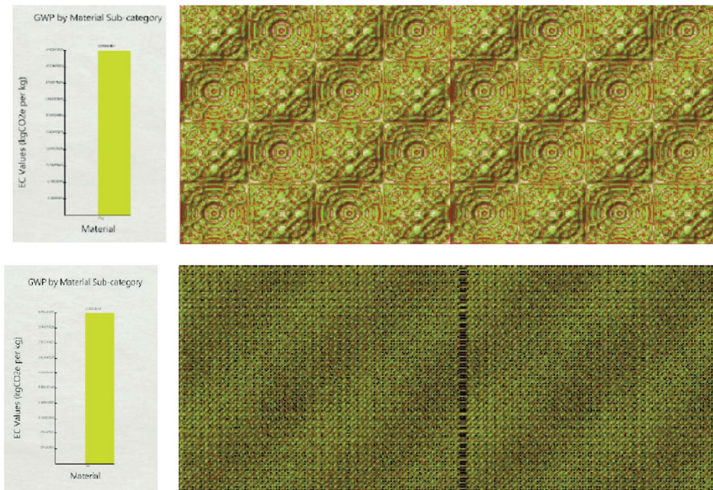


Fig. 4.e – Calcolo del GWP per sottocategoria di materiale. Fonte: elaborazioni per tesi phd D.Lucanto (ABITAlab)

Step 3. Si procede alla fase di preparazione per la stampa 3D su cura. In particolare, si esegue la preparazione dell'argilla (cfr. Fig. 4.f, g e h), che viene impastata utilizzando una consistenza abbastanza morbida da poter essere alimentata attraverso la macchina, ma non così morbida da non sostenersi da sola durante l'accumulo. In seguito, si mette in pressione la tank e si procede con la stampa, utilizzando la stampante 3D Wasp 4070 LDM.



Fig. 4.f – Preparazione impasto in argilla per stampa con 3D Wasp 4070. Fonte: elaborazioni per tesi phd D.Lucanto (ABITAlab)



Fig. 4.g – Fasi di stampa 3D del prototipo. Fonte: elaborazioni per tesi phd D.Lucanto (ABITAlab)

Durante il processo di asciugatura, si tiene conto del fatto che l'argilla si restringe in quantità diverse. L'argilla si restringe maggiormente in verticale rispetto alla direzione orizzontale, a causa della compressione degli strati durante la stampa. In particolare, l'argilla del gres si restringe di circa il 13% in verticale e dell'8% in orizzontale, mentre la porcellana si restringe fino al 20% in verticale e al 16% in orizzontale, quando viene sparata a 1220 gradi centigradi. Per la stampa 3D, si utilizzano i seguenti settaggi su cura: altezza layer iniziale di 0.4 e altezza layer costante di 0.7. Inoltre, si utilizza la modalità "surface" che permette di tracciare durante la stampante una linea continua senza interruzioni. Infine, l'asciugatura dell'argilla stampata è avvenuta in un ambiente controllato sotto pellicola per un periodo di 10 giorni, al fine di controllare il rilascio dell'umidità e garantire una corretta e uniforme asciugatura del materiale.

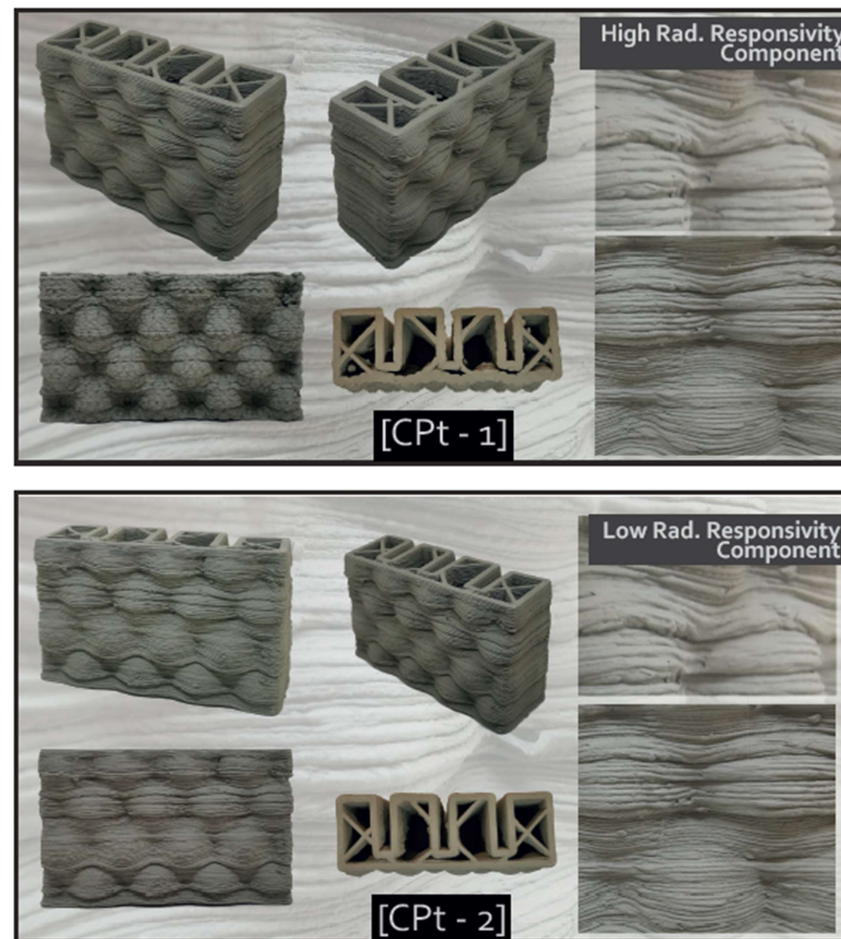


Fig. 4.h – Foto dei componenti stampati in argilla con responsività ad alte e basse radiazioni. Fonte: elaborazioni per tesi phd D.Lucanto (ABITAlab)

5. TRL- 5 costruzione dei modelli parametrici attraverso il processo di Advanced Circular Design

Il Progetto esecutivo del dimostratore GRS

La presente relazione descrive il progetto esecutivo del dimostratore GRS (*Green Responsive System*) e illustra le principali fasi del suo sviluppo. Il GRS è un sistema ibrido innovativo che combina la produzione di energia fotovoltaica con la tecnologia per il rinverdimento verticale. Il suo scopo principale è quello di dimostrare la fattibilità e l'efficacia della combinazione di queste tecnologie per abbattere le emissioni di CO₂ e fornire una fonte sostenibile di energia rinnovabile.

Per elaborare il progetto esecutivo e il piano di realizzazione e messa in esercizio del dimostratore, si assumono le caratteristiche dei componenti precedentemente analizzati sui quali è stata condotta la sperimentazione in Advanced Circular Design: il modulo fotovoltaico, l'invaso per la piantumazione di piante *edible* ed i moduli per il rinverdimento verticale, considerando anche l'aggiunta del dispositivo di monitoraggio delle particelle di CO₂ e il rivestimento in alluminio.

Si definiscono così gli obiettivi del progetto, ovvero l'*ottimizzazione* della quantità di energia elettrica prodotta dal pannello fotovoltaico, il livello di riduzione delle particelle di CO₂ nella fase di costruzione, la quota parte di stoccaggio delle emissioni di CO₂ assorbita dal greening.

Una volta definiti gli obiettivi, si procede con la progettazione degli elementi del dimostratore. In particolare, la progettazione deve tener conto dei materiali da utilizzare, delle dimensioni e delle caratteristiche funzionali e tecniche degli elementi, nonché della loro integrazione nell'insieme.

Naturalmente, durante la progettazione, si considera la contabilizzazione dell'impatto ambientale dell'intero sistema, tenendo conto del ciclo di vita dei materiali e delle tecnologie utilizzate, della quantità di energia elettrica consumata durante la costruzione e il funzionamento del dimostratore, e dell'impatto sull'ambiente circostante.

Completata la progettazione degli elementi e la valutazione dell'impatto ambientale, si elabora il progetto esecutivo e il piano di costruzione e di funzionamento del dimostratore. Questi documenti tecnici includono la descrizione dettagliata degli elementi del dimostratore, delle tecnologie utilizzate, dei materiali, ed infine delle tempistiche.

Infine, si procede con la costruzione del dimostratore e con il monitoraggio del suo funzionamento nel tempo, al fine di verificare l'efficacia del sistema e di apportare eventuali modifiche o miglioramenti.

Il progetto esecutivo del GRS è stato suddiviso in diverse fasi, a partire dalla *fase di progettazione preliminare* fino alla *fase di implementazione e test*. Nella fase di *progettazione preliminare*, sono state definite le specifiche del sistema, le esigenze dell'utente e le principali funzionalità richieste. Sono state anche identificate le opportune tecnologie e le risorse necessarie per la realizzazione del sistema. Successivamente, nella fase di progettazione concettuale, sono stati definiti i requisiti funzionali e tecnici del sistema e sono state sviluppate le soluzioni preliminari per il sistema. In questa fase, sono state utilizzate le metodologie TRL (Technology Readiness Level) per valutare la fattibilità e la maturità delle soluzioni preliminari.

Nella fase di *progettazione in dettaglio*, sono state sviluppate le soluzioni definitive per il sistema GRS, con particolare attenzione alla scelta dei materiali e alle tecnologie per il controllo e la gestione del sistema. Sono state inoltre sviluppate le specifiche tecniche per la realizzazione del sistema e sono stati definiti i costi associati.

In seguito, nella *fase di implementazione e test*, il sistema GRS è stato realizzato e testato in condizioni di laboratorio e in situazioni reali. Sono stati eseguiti test di performance, di sicurezza e di affidabilità del sistema, e sono state valutate le prestazioni del sistema in termini di produzione di energia fotovoltaica e di effetto di rinverdimento verticale. Per la realizzazione del sistema GRS, sono stati utilizzati materiali di alta qualità e tecnologie all'avanguardia per garantire un'efficienza energetica ottimale e una lunga durata del sistema. Sono stati inoltre implementati sistemi di controllo e gestione del sistema in grado di monitorare costantemente le prestazioni del sistema e di garantire la massima sicurezza e affidabilità.

In conclusione, il progetto esecutivo del dimostratore GRS ha permesso di sviluppare un sistema ibrido innovativo che combina la produzione di energia fotovoltaica con la tecnologia per il rinverdimento verticale. Il sistema ha dimostrato di essere efficace nel ridurre le emissioni di CO₂ e nella produzione di energia rinnovabile, contribuendo al miglioramento dell'ambiente e della qualità della vita.

La costruzione del dimostratore GRS è un'attività volta a dimostrare la fattibilità e l'efficacia della combinazione di tecnologie ibride per il rinverdimento verticale e la produzione di energia fotovoltaica come contributo all'abbattimento delle emissioni di CO₂. Questa attività si articola in diverse fasi, che prevedono la predisposizione delle strutture per il sistema GRS, il posizionamento del sistema di ancoraggio della sottostruttura del pannello fotovoltaico e del pannello "bios-battery", la posa in opera del pannello bios-battery e del sistema di impiantistica per il pannello fotovoltaico, il posizionamento del carter di alluminio di rivestimento e della sottostruttura per i moduli di rinverdimento verticali, e infine il posizionamento del pannello fotovoltaico ed il collegamento con l'impianto.

Questa attività è in linea con la metodologia TRL-5, poiché il dimostratore GRS viene realizzato in un ambiente industrialmente valido, in cui le tecnologie ibride per il rinverdimento verticale e la produzione di energia fotovoltaica possono essere testate e validate in un ambiente realistico. La sperimentazione condotta attraverso la costruzione del dimostratore GRS permetterà di verificare l'efficacia delle tecnologie ibride e del sistema di rinverdimento verticale nella riduzione delle emissioni di CO₂ e nel contribuire alla salvaguardia dell'ambiente, confermando così quanto espresso nel TRL-5, ovvero la tecnologia convalidata in ambiente di laboratorio.

La *costruzione del dimostratore GRS*, volto a dimostrare la fattibilità e l'efficacia della combinazione di tecnologie ibride per il rinverdimento verticale e la produzione di energia fotovoltaica come contributo all'abbattimento delle emissioni di CO₂, si articola in diverse fasi.

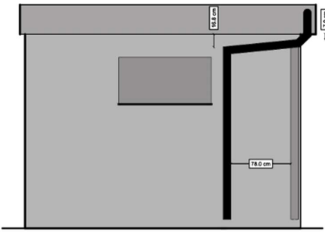
La *prima fase (Fig. 5.a)* prevede lo spostamento della canaletta di recupero delle acque piovane e la predisposizione delle forature per l'integrazione con il sistema GRS, seguita dal posizionamento degli angolari forati del tipo "logika" che serviranno per fissare il carter di alluminio. Quest'ultimo sarà posizionato nell'ultima fase.

La *seconda fase (Fig. 5.b)* riguarda principalmente il posizionamento del sistema di ancoraggio della sottostruttura del pannello fotovoltaico e del pannello "BioSbattery". In questa fase, si procede con la giustapposizione degli angolari a "L" in acciaio 5x5x10 cm per l'ancoraggio del sistema strutturale del pannello fotovoltaico e il posizionamento della sottostruttura in acciaio 3x3cmxlunghezza "BioSbattery" che serve a mantenere i pannelli in cemento misto a PVCcupcycling.

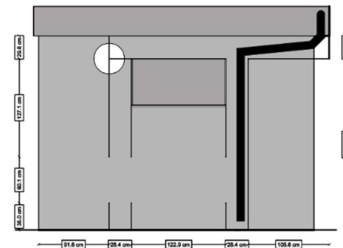
La *terza fase (Fig. 5.c)* consiste nella posa in opera del pannello BioSbattery e nel posizionamento del sistema di impiantistica per il pannello fotovoltaico, combinato al sistema di monitoraggio della qualità dell'aria e dello stoccaggio della CO₂ nelle vicinanze del GRS.

La *quarta fase* (Fig. 5.d) prevede il posizionamento del carter di alluminio di rivestimento, fissato alla struttura precedentemente predisposta, attraverso viti autoforanti per lamiera modello drilllex. In questa fase si procede anche al posizionamento della sottostruttura per i moduli di rinverdimento verticali stampati in 3D presso abitalab, insieme al posizionamento dell'invaso in cemento più PVCcupcycling per le piante edibili.

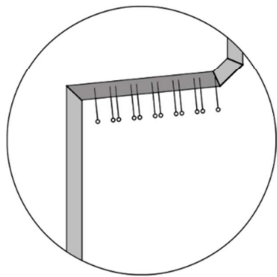
Spostamento della canaletta di recupero delle acque piovane



Predisposizione del sistema di aggancio per il carter in alluminio



Predisposizione delle forature per l'integrazione con il sistema GRS



Sistema di aggancio alla struttura esistente barre forate in alluminio e tasselli da 10 mm

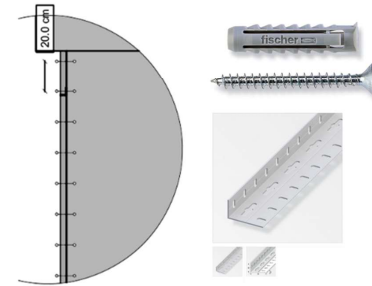
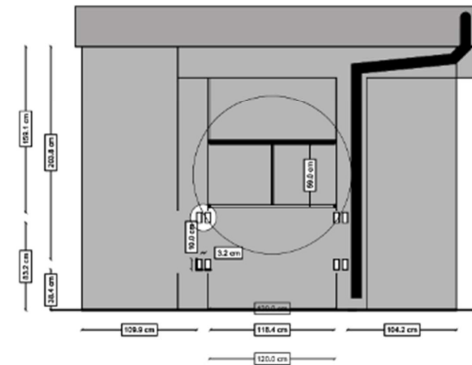
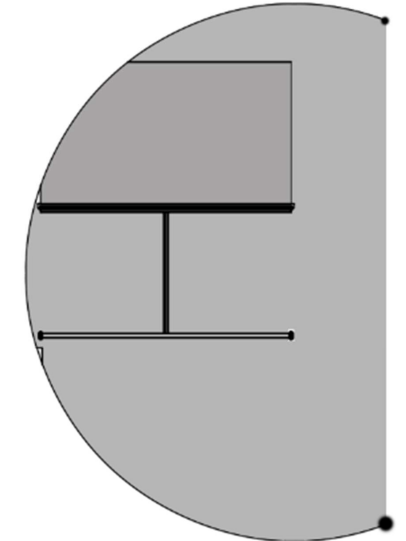


Fig. 5.a – Operazioni prima fase. Fonte: elaborazioni D.Lucanto, E.Catalano per ABITAlab

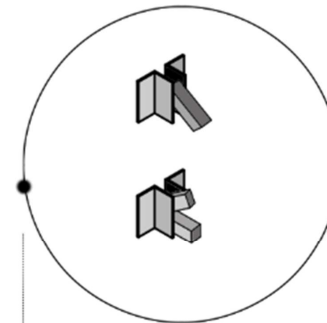
Posizionamento del sistema di ancoraggio sottostruttura pannello fotovoltaico



Posizionamento del sistema di ancoraggio sottostruttura pannello BiosBattery



Posizionamento del sistema di ancoraggio sottostruttura pannello fotovoltaico



Posizionamento del sistema di ancoraggio sottostruttura pannello fotovoltaico

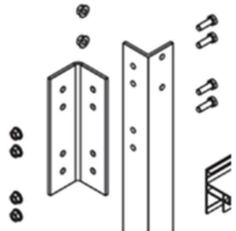
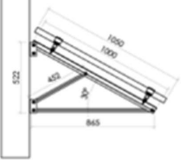






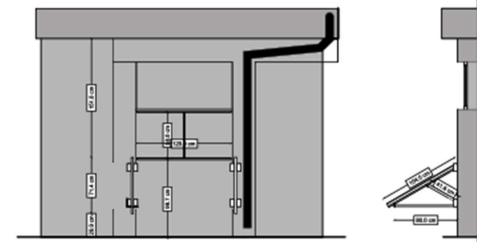
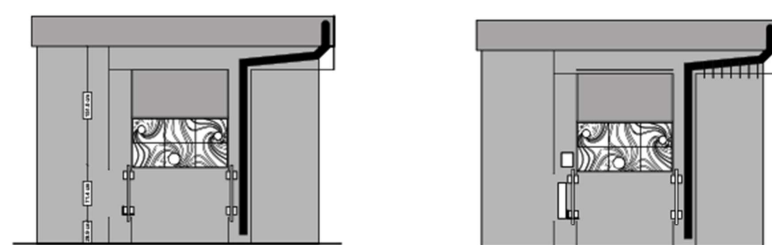
PIASTRA ANGOLARE IN INOX ZINCATO L 150 X SP 2.5 X H 40 MM Dimensioni standard Quantità: min. 12																												
SISTEMA DI SUPPORTO PER SOLUZIONE A PARETE (Frangisole) Quantità: 1 modulo	 <p>KFF30-1000</p> <p>Singolo modulo orizzontale h.max 1050 mm Single horizontal module h. max 1050 mm</p> <p>Materiale staffe Bracket material Acciaio inox Aisi 304 Aisi 304 stainless steel</p> <p>Profili compatibili Compatible profiles PRT2334, PRT2640, PRT2947</p>	KFF30-1000, pag. 112, 115																										
SPECIFICA DEI COMPONENTI STRUTTURALI COMPRESIVA DELLE PARTI IN AGGIUNTA																												
Profilo compatibile PRT2947-340 - PRT2947-113 Quantità: ml 2,00 (min.)	 <table border="1" data-bbox="481 718 672 798"> <thead> <tr> <th colspan="3">Dimensioni / Dimensions</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Length</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>55.1</td> <td>27.2</td> <td>3400 mm</td> </tr> <tr> <td>55.1</td> <td>27.2</td> <td>1130 mm</td> </tr> </tbody> </table>  <table border="1" data-bbox="694 718 851 798"> <thead> <tr> <th colspan="4">Dimensioni / Dimensions</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>Length</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>44.5</td> <td>7</td> <td>28</td> <td>15</td> <td>200 mm</td> </tr> </tbody> </table>	Dimensioni / Dimensions			A	B	Length	55.1	27.2	3400 mm	55.1	27.2	1130 mm	Dimensioni / Dimensions				A	B	C	D	Length	44.5	7	28	15	200 mm	Cfr. pag.113
Dimensioni / Dimensions																												
A	B	Length																										
55.1	27.2	3400 mm																										
55.1	27.2	1130 mm																										
Dimensioni / Dimensions																												
A	B	C	D	Length																								
44.5	7	28	15	200 mm																								
Profilo compatibile PRT2640-340 - PRT2640-113 Quantità: ml 2,62 (min.)	 <table border="1" data-bbox="481 861 672 941"> <thead> <tr> <th colspan="3">Dimensioni / Dimensions</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Length</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>46.2</td> <td>27.2</td> <td>3400 mm</td> </tr> <tr> <td>46.2</td> <td>27.2</td> <td>1130 mm</td> </tr> </tbody> </table>  <table border="1" data-bbox="694 861 851 941"> <thead> <tr> <th colspan="4">Dimensioni / Dimensions</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th colspan="2">Length</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>22.9</td> <td>17.3</td> <td colspan="2">200 mm</td> </tr> </tbody> </table>	Dimensioni / Dimensions			A	B	Length	46.2	27.2	3400 mm	46.2	27.2	1130 mm	Dimensioni / Dimensions				A	B	Length		22.9	17.3	200 mm		Cfr. pag.113		
Dimensioni / Dimensions																												
A	B	Length																										
46.2	27.2	3400 mm																										
46.2	27.2	1130 mm																										
Dimensioni / Dimensions																												
A	B	Length																										
22.9	17.3	200 mm																										
Profilo compatibile PRT4689-340 - PRT4689-113 Quantità: ml 5,00 (min.)	 <table border="1" data-bbox="481 1013 672 1093"> <thead> <tr> <th colspan="3">Dimensioni / Dimensions</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Length</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>75</td> <td>38.7</td> <td>3400 mm</td> </tr> <tr> <td>75</td> <td>38.7</td> <td>1130 mm</td> </tr> </tbody> </table>  <table border="1" data-bbox="694 1013 851 1093"> <thead> <tr> <th colspan="4">Dimensioni / Dimensions</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>Length</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>67</td> <td>18</td> <td>62</td> <td>200 mm</td> </tr> </tbody> </table>	Dimensioni / Dimensions			A	B	Length	75	38.7	3400 mm	75	38.7	1130 mm	Dimensioni / Dimensions				A	B	C	Length	67	18	62	200 mm	Cfr. pag.113		
Dimensioni / Dimensions																												
A	B	Length																										
75	38.7	3400 mm																										
75	38.7	1130 mm																										
Dimensioni / Dimensions																												
A	B	C	Length																									
67	18	62	200 mm																									

Fig. 5.b – Operazioni seconda fase. Fonte: elaborazioni D.Lucanto, E.Catalano per ABITAlab

Posizionamento del sistema di ancoraggio sottostruttura pannello BiosBattery



Posa in opera dei pannelli Bios Battery



Posizionamento del sistema di ancoraggio sottostruttura pannello BiosBattery

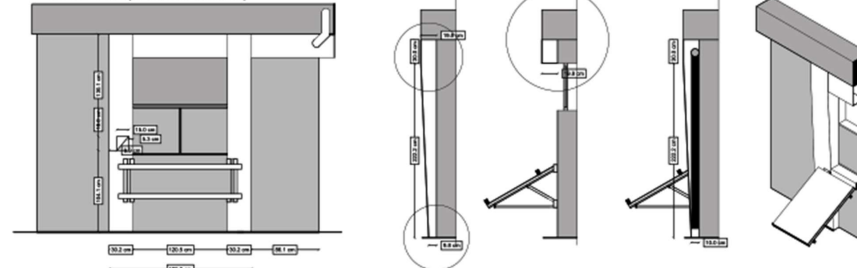


Fig. 5.c – Operazioni terza fase. Fonte: elaborazioni D.Lucanto, E.Catalano per ABITAlab

Posizionamento del sistema di ancoraggio sottostruttura pannello fotovoltaico

